

MARIA AUGUSTA DOETZER ROSOT

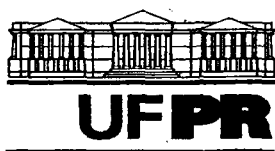
**PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS
APLICADO À MEDIÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO
NA ANÁLISE DE TRONCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

CURITIBA

2002



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – CAMPUS III
80210-170 – CURITIBA – Paraná
Tel. (41) 360.4212 – Fax. (41) 360.4211 – <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

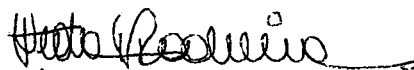
PARECER

Defesa nº 498


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir a doutoranda **MARIA AUGUSTA DOETZER ROSOT** em relação ao seu trabalho de tese intitulado "PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS APLICADO À MEDIÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO NA ANÁLISE DE TRONCO", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da acadêmica, habilitando-a ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Manejo Florestal*.



Dr. Afonso Figueiredo Filho

Professor sênior do Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora



Dr.ª Yeda Maria Malheiros de Oliveira
EMBRAPA/CNP-FLORESTA
Primeiro examinador


Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Fundação Universidade Regional de Blumenau-FURB
Segundo examinador


Dr. Julio Eduardo Arce
Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Terceiro examinador


Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano
Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Quarto examinador

Curitiba, 20 de dezembro de 2002.


Nivaldo Eduardo Rizzi
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Franklin Galvão
Vice-coordenador

*“A todos aqueles que partiram desta vida, acolhei-os junto
a Vós, na luz da Vossa face”*

Especialmente em memória de minha avó, Noêmia, e de tantas outras pessoas importantes em minha vida e que se foram ao longo desses anos.

Ao meu esposo, Nelson Carlos, e às minhas
filhas, Maria Júlia, Thaís Carolina e Luciana Theresa

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos professores membros do meu Comitê Orientador, Afonso Figueiredo Filho, Attilio Antonio Disperati e Dartagnan Baggio Emerenciano por seus ensinamentos, seu interesse, suas sugestões durante a realização deste trabalho e, principalmente, por sua amizade em todos esses anos de convivência.

À Embrapa Florestas, na pessoa do Dr. Vitor Afonso Hoeflich e Dr. Moacir José Sales Medrado, respectivamente Chefe Geral e Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento, pela liberação parcial de minhas atividades como pesquisadora dessa instituição para a conclusão do curso, pela cessão das árvores que constituíram a base de dados para esta pesquisa e pela disponibilização de mão-de-obra especializada para os trabalhos de campo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa de estudos para a realização do curso.

A todos que disponibilizaram equipamentos fotográficos e de vídeo durante o desenvolvimento do estudo-piloto, entre eles o Comitê Orientador, o Prof. Mário Takao Inoue, o Prof. Wilson Alcântara Soares, o Prof. Jürgen Philips e o pesquisador Carlos Alberto da Silva Mazza.

À pesquisadora Patrícia Povia de Mattos, por suas valiosas sugestões e orientação quanto ao uso de técnicas de análise de imagem.

Aos Srs. Antonio Pereira da Silva, Moacir Taverna, Otaíde Gonçalves e Mário Picussa pelo auxílio inestimável e pelo trabalho minucioso durante a fase de derrubada das árvores e coleta das fatias.

Às bibliotecárias da Embrapa Florestas, Lídia Woronkoff e Elizabeth Câmara Trevisan, pela sua gentileza e diligência na correção das referências bibliográficas.

Às pessoas que têm participado do meu dia-a-dia na Embrapa Florestas, especialmente à equipe do Laboratório de Monitoramento Ambiental, pela sua alegria, pelo seu incentivo e por sua amizade.

Aos colegas Denis Bernardi e Paulo Costa de Oliveira Filho pelo valioso auxílio quanto ao uso do SPRING durante a fase do estudo-piloto.

Aos Professores Greg Biging, da Universidade de Califórnia e Calvin Liu, da Universidade de Kentucky; aos pesquisadores Dr. Ulrich Weise, do Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg - Alemanha e Dr. Jack Schlesselman, da Rohm and Haas Company, por gentilmente terem me enviado bibliografia referente ao tema da tese e por seu interesse e sugestões.

Aos Drs. Ian Campbell e Thierry Varem-Sanders por seus esclarecimentos quanto ao uso do *software* DendroScan e pelo envio das versões mais atualizadas.

À Dra. Margarida Rauen, por sua gentileza, interesse e auxílio preciosos nas questões referentes ao idioma inglês.

À minha amiga Deise Maria Bertholdi Costa, por seu incentivo e pelo extenso trabalho de pesquisa, escanerização e envio de material bibliográfico de München, Alemanha.

Aos meus amigos “estatísticos” Sérgio Aparecido Ignácio e Edílson Batista de Oliveira, pela sua orientação e apoio durante as análises quantitativas da tese.

Aos meus amigos de “Floripa”, Weimar Freire da Rocha Júnior, Vera Lúcia Bodini da Rocha, Hermés Oliveira dos Anjos e Czeslau Barczak pelo seu interesse, incentivo e pela convivência.

À minha amiga Yeda Maria Malheiros de Oliveira por sua presença, seu apoio incondicional e seu empenho em me ajudar a superar as dificuldades.

À Maria Aparecida da Silva (“Cida”), por ter cuidado de mim, de minha casa e de minha família, especialmente durante o último ano.

À minha família, por seu interesse e estímulos constantes à minha realização profissional e pessoal.

A meu pai, Benno Henrique Doetzer (*in memoriam*) e à minha mãe, Norma. T. W. Doetzer, por terem me educado com amor e por terem me proporcionado a possibilidade de estudar e de me aprimorar em termos profissionais.

Ao Nelson, como esposo, pela sua presença, incentivo e amor; como mestre e colega de profissão, pela orientação técnica em todas as fases do trabalho, pelas discussões sempre profícuas e pelo auxílio inestimável durante a coleta de dados e medição das fatias.

Às minhas filhas, Maju, Tatá e Nena, por sua compreensão, carinho e paciência durante este tempo em que não pude dedicar-lhes a atenção e os cuidados que mereciam.

A Deus, que me deu vida, saúde e felicidade e que colocou em meu caminho pessoas de boa vontade.

"A análise de tronco é o meio direto e mais acurado de se investigar o desenvolvimento de uma árvore, bem como os vários aspectos de seu crescimento."

(Michael Prodan, 1965)

"Uma imagem vale mais do que mil palavras."

(Provérbio chinês)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 CRESCIMENTO	4
2.1.1 Conceito	4
2.1.2 Estrutura dos Anéis de Crescimento	5
2.1.3 Fatores que afetam o Crescimento Radial	7
2.1.4 Forma da Seção Transversal	9
2.2 ANÁLISE DE TRONCO (ANATRO).....	10
2.2.1 Conceito e Utilização	10
2.2.2 Técnicas Convencionais para Execução da ANATRO	12
2.2.3 Relações Diâmetro-Idade, Altura-Idade, Área Transversal-Idade, Volume- Idade.....	21
2.2.4 Equipamentos para Análise de Tronco	24
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	29
2.3.1 Conceito de Sensoriamento Remoto	29
2.3.2 Sistemas Sensores	29
2.3.2.1 Sensores fotográficos	30
2.3.2.2 Sensores eletrônicos (câmera digital e <i>scanner</i>)	34
2.3.3 Conceito de Processamento Digital de Imagens	38
2.3.4 Etapas do Processamento Digital de Imagens	38
2.3.5 Aplicações do Processamento Digital de Imagens	41
2.3.5.1 Técnicas de análise de imagem no estudo dos anéis de crescimento ...	43
2.4 TÉCNICAS FOTOGRÁFICAS APLICADAS AO ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	48
3 MATERIAL E MÉTODOS	52
3.1 ORIGEM DOS DADOS	52
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PRELIMINARES	53
3.3 PROCEDIMENTOS DE CAMPO	54
3.4 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO	58
3.4.1 Preparação das Fatias	58
3.4.2 Preparação do Material Fotografado	58
3.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	59
3.5.1 Pré-processamento	59
3.5.1.1 Conversão para formato digital	59

3.5.1.1.1 Fatias	59
3.5.1.1.2 Slides	60
3.5.2 Processamento	60
3.5.2.1 Técnicas de realce de imagem	60
3.5.2.2 Obtenção da área transversal “real”	61
3.5.2.3 Obtenção de parâmetros de forma da seção transversal	64
3.5.2.4 Obtenção de áreas transversais através de técnicas fotográficas	65
3.5.2.5 Obtenção de áreas transversais através da medição de raios digitais (DendroScan)	66
3.6 OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS POR MEDIÇÃO MANUAL	70
3.7 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	71
3.8 MAPEAMENTO DAS FATIAS	72
3.9 AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE DAS ESTIMATIVAS DE ÁREA TRANSVERSAL	74
3.10 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS	76
3.10.1 Análise de Agrupamento	76
3.10.2 Análise de Efeitos Principais e Interações.....	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4.1 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS FOTOGRÁFICAS NA COLETA DE DADOS PARA ANATRO	80
4.1.1 Câmera Digital	80
4.1.2 Câmera Convencional	81
4.2 OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS USANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	81
4.2.1 Conversão para Formato Digital	81
4.2.2 Técnicas de Realce de Imagens	82
4.2.3 Obtenção de Áreas Transversais “Reais”	84
4.2.4 Obtenção de Parâmetros de Forma da Seção Transversal	86
4.2.5 Obtenção de Áreas Transversais usando o <i>Software</i> DendroScan	88
4.2.6 Obtenção de Áreas Transversais usando Imagens de <i>Slides</i>	98
4.2.7 Obtenção de Áreas Transversais usando Fotos Digitais	100
4.3 OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS USANDO MEDIÇÃO MANUAL	102
4.4 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA EM AMBIENTE DE GEOPROCESSAMENTO	104
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	114
4.5.1 Número de Anéis Visíveis	114
4.5.2 Consistência e Organização dos Dados	114
4.5.3 Avaliação da Acuracidade das Estimativas de Área Transversal	116
4.5.4 Avaliação dos Parâmetros de Forma da Seção Transversal	119
4.5.5 Comparação entre os Métodos de Obtenção de Áreas Transversais	121
4.5.5.1 Análise de agrupamento	121
4.5.5.2 Análise de efeitos principais e de interações	124

4.5.5.2.1 ANOVA para exame dos efeitos principais dos fatores	128
4.5.5.2.2 ANOVA para exame das interações duplas de níveis dos fatores ...	132
4.5.5.2.3 ANOVA para exame da interação tripla de níveis dos fatores	136
4.5.6 Comparação dos Resultados da ANATRO para a Árvore Inteira	142
4.6 APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO EM MEIO DIGITAL	147
5 CONCLUSÕES	150
5.1 CONCLUSÕES	150
5.2 RECOMENDAÇÕES	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
APÊNDICES	164

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- EXEMPLO DE FICHA DE REGISTRO DE DADOS PARA ANATRO	16
TABELA 2	- ORIENTAÇÃO ÓTIMA DOS RAIOS A SEREM MEDIDOS NA ANATRO, CONFORME A QUANTIDADE DE RAIOS E TIPO DE MÉDIA EMPREGADA	17
TABELA 3	- SÉRIES DE DADOS DE ÁREA TRANSVERSAL E MÉTODOS/ <i>SOFTWARE</i> UTILIZADOS NA SUA OBTENÇÃO	71
TABELA 4	- TAMANHO DOS ARQUIVOS DIGITAIS RESULTANTES DE ESCANERIZAÇÃO, CONFORME FORMATO, RESOLUÇÃO E NÚMERO DE <i>BITS</i>	82
TABELA 5	- FREQUÊNCIA DE ANÉIS POR CLASSE DE DIÂMETRO ...	115
TABELA 6	- ESTATÍSTICAS DA REGRESSÃO LINEAR APLICADA AOS QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO	117
TABELA 7	- INTERVALOS DE CONFIANÇA PARA O COEFICIENTE b_1 NOS MODELOS AJUSTADOS SEM O INTERCEPTO	118
TABELA 8	- FREQUÊNCIAS POR CLASSE DE EXCENTRICIDADE	120
TABELA 9	- DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS ENTRE AS ÁREAS TRANSVERSAIS OBTIDAS POR DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO	123
TABELA 10	- FATORES E NÍVEIS CONSIDERADOS NA ANÁLISE DOS MÉTODOS TESTADOS	124
TABELA 11	- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS ENTRE ÁREAS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO .	125
TABELA 12	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DO EFEITO PRINCIPAL “MÉTODO DE MEDIÇÃO”	128
TABELA 13	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DO EFEITO PRINCIPAL “CLASSE DE DIÂMETRO”	129
TABELA 14	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DO EFEITO PRINCIPAL “CLASSE DE EXCENTRICIDADE”	129
TABELA 15	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MÉTODOS MEDIÇÃO	129
TABELA 16	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA CLASSES DE DIÂMETRO	130
TABELA 17	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “MÉTODO x CLASSE DE DIÂMETRO”	132
TABELA 18	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO	133

TABELA 19	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “MÉTODO x CLASSE DE EXCENTRICIDADE”	134
TABELA 20	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MÉTODO E CLASSE DE EXCENTRICIDADE	135
TABELA 21	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “CLASSE DE DIÂMETRO x CLASSE DE EXCENTRICIDADE”	136
TABELA 22	- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “MÉTODO DE MEDIÇÃO x CLASSE DE DIÂMETRO x CLASSE DE EXCENTRICIDADE”	137
TABELA 23	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO NA CLASSE DE EXCENTRICIDADE 1	140
TABELA 24	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO NA CLASSE DE EXCENTRICIDADE 2	141
TABELA 25	- COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO NA CLASSE DE EXCENTRICIDADE 3	141
TABELA 26	- NÚMERO DE ANÉIS POR FATIA NA ANATRO DIGITAL E ANATRO MANUAL	142
TABELA 27	- ALTURAS OBTIDAS A PARTIR DE ANATRO MANUAL E DIGITAL	143
TABELA 28	- VOLUMES POR IDADE ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DE ANATRO MANUAL E DIGITAL	146

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– DIAGRAMA DO MÉTODO DO PARALELISMO PARA INTERPOLAÇÃO DA ALTURA DO TÉRMINO DO ANEL ..	18
FIGURA 2	– CURVAS DE PRODUÇÃO E DE INCREMENTO.....	22
FIGURA 3	– REPRESENTAÇÃO DAS CORES NOS FILMES REVERSÍVEIS	33
FIGURA 4	– ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS	39
FIGURA 5	– VISTA PARCIAL DOS POVOAMENTOS ONDE FORAM COLETADAS AS ÁRVORES-AMOSTRA: (a) <i>Pinus elliottii</i> , 22 ANOS; (b) <i>Pinus elliottii</i> , 17 ANOS	52
FIGURA 6	– FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO TRABALHO	55
FIGURA 7	– PROCEDIMENTOS FOTOGRÁFICOS DURANTE A COLETA DE DADOS	56
FIGURA 8	– DESENHO ESQUEMÁTICO DA MARCAÇÃO DE RAIOS NA CASCA	59
FIGURA 9	– OBTENÇÃO DO FATOR DE ESCALA NO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW	66
FIGURA 10	– DESENHO ESQUEMÁTICO DA LEITURA DOS NÍVEIS DE CINZA AO LONGO DO RAIOS DIGITAL NO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN	68
FIGURA 11	– DESENHO ESQUEMÁTICO DA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DOS ANÉIS NO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN	70
FIGURA 12	– IMAGEM DE <i>SLIDE</i> ESCANERIZADO, COM REALCE (a) E SEM REALCE (b)	83
FIGURA 13	– EXEMPLO DE VETORIZAÇÃO DE ANEL SOBRE A IMAGEM ESCANERIZADA DE UMA FATIA COM RACHADURA	84
FIGURA 14	– JANELA DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW COM ANÉIS VETORIZADOS SOBRE FATIAS SECAS, LIXADAS E ESCANERIZADAS E RESPECTIVA TABELA DE ATRIBUTOS	86
FIGURA 15	– JANELA DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW COM OS MAIORES E MENORES RAIOS E DIÂMETROS DA FATIA 5 E RESPECTIVAS TABELAS DE ATRIBUTOS	87
FIGURA 16	– (a) CURVA DE HISTOGRAMA MODIFICADA (b) HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA SEM PIXELS DE DN IGUAL A ZERO	89
FIGURA 17	– (a) RAIOS DIGITAIS MARCADOS SOBRE A IMAGEM DE UMA FATIA DE <i>Pinus elliottii</i> (b) JANELA DO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN MOSTRANDO O RECONHECIMENTO DAS TRAJETÓRIAS DOS RAIOS DIGITAIS	90

FIGURA 18	– TELA DO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN COM A DESCRIÇÃO DE SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	91
FIGURA 19	– FALSO ANEL DETECTADO PELO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN E A REGIÃO CORRESPONDENTE NA IMAGEM ORIGINAL	93
FIGURA 20	– GRÁFICO DO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN: PERFIL DE DENSIDADE ANUAL PARA QUATRO RAIOS	94
FIGURA 21	– GRÁFICO DO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN: LARGURA DE ANÉIS (cm) PARA QUATRO RAIOS	96
FIGURA 22	– GRÁFICO DO <i>SOFTWARE</i> DENDROSCAN: LARGURA RELATIVA DO LENHO OUTONAL PARA QUATRO RAIOS	97
FIGURA 23	– (a) FATIA SECA, LIXADA E ESCANERIZADA (b) <i>SLIDE</i> ESCANERIZADO DA FATIA VERDE	99
FIGURA 24	– PORÇÃO DE UMA FATIA ESCANERIZADA (a) E A PORÇÃO CORRESPONDENTE NA FOTO DIGITAL (b)	101
FIGURA 25	– FOTO DIGITAL DE UMA FATIA INTEIRA E DETALHE DA AMPLIAÇÃO DOS ANÉIS	103
FIGURA 26	– MEDIÇÃO MANUAL DE RAIOS SOBRE A FATIA SECA E LIXADA	103
FIGURA 27	– JANELA DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW MOSTRANDO O PREENCHIMENTO DA TABELA DE ATRIBUTOS	105
FIGURA 28	– JANELA DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW MOSTRANDO O CÁLCULO DE ÁREA TRANSVERSAL (a) E RAIOS MÉDIO (b)	106
FIGURA 29	– JANELA DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW COM A IMAGEM DA FATIA, “ <i>SHAPE</i> ” DOS ANÉIS E TABELA DE ATRIBUTOS	107
FIGURA 30	– TELA DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW MOSTRANDO REPRESENTAÇÃO POR VALOR EXCLUSIVO E EXPRESSÃO DE CONSULTA POR ATRIBUTO	109
FIGURA 31	– “VISTA” DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW CONTENDO A IMAGEM, TABELA DE ATRIBUTOS E GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DO IMA EM DIÂMETRO	109
FIGURA 32	– DIGITALIZAÇÃO DE INCREMENTOS AO LONGO DE UM RAIOS NA FOTO DIGITAL EMPREGANDO O RECURSO DE “ <i>SNAP</i> ”	111
FIGURA 33	– “VISTA” DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW CONTENDO A IMAGEM, INCREMENTOS CORRENTES, TABELA DE ATRIBUTOS E GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DO ICA EM DIÂMETRO	112
FIGURA 34	– IDENTIFICAÇÃO E MARCAÇÃO DOS ANÉIS AO LONGO DE QUATRO RAIOS USANDO O RECURSO GRÁFICO DO <i>SOFTWARE</i> ARCVIEW	113
FIGURA 35	– HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE ANÉIS POR CLASSE DE DIÂMETRO	116

FIGURA 36	– REGRESSÃO DA ÁREA TRANSVERSAL MEDIDA PELO SOFTWARE DENDROSCAN (a) E PELO MÉTODO DO SLIDE (b) SOBRE A ÁREA TRANSVERSAL “REAL” (SCANNER)	118
FIGURA 37	– REGRESSÃO DA ÁREA TRANSVERSAL MEDIDA PELO MÉTODO DA FOTO DIGITAL (a) E PELO MÉTODO MANUAL (b) SOBRE A ÁREA TRANSVERSAL “REAL” (SCANNER)	119
FIGURA 38	– HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE ANÉIS POR CLASSE DE EXCENTRICIDADE	121
FIGURA 39	– DENDROGRAMA DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO COM LIGAÇÃO SIMPLES	122
FIGURA 40	– DISPERSÃO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS NÃO-ABSOLUTAS SOBRE AS ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS”(SCANNER): MÉTODOS DENDROSCAN E SLIDE	126
FIGURA 41	– DISPERSÃO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS NÃO-ABSOLUTAS SOBRE AS ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS”(SCANNER): MÉTODO DIGITAL E MANUAL	127
FIGURA 42	– COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DOS FATORES: MÉTODO (a), CLASSE DE DIÂMETRO (b) E CLASSE DE EXCENTRICIDADE (c) CONSIDERADOS ISOLADAMENTE	131
FIGURA 43	– COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DOS FATORES MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO	132
FIGURA 44	– COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DOS FATORES MÉTODO E CLASSE DE EXCENTRICIDADE ..	134
FIGURA 45	– COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DOS FATORES MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO PARA CLASSES DE EXCENTRICIDADE 1 (a), 2 (b) E 3 (c)	138
FIGURA 46	– CURVA DE ALTURA SOBRE IDADE COM DADOS DE ANATRO DIGITAL E ANATRO MANUAL	144
FIGURA 47	– PERFIS DA ÁRVORE OBTIDOS POR ANATRO DIGITAL (a) E ANATRO MANUAL (b)	145
FIGURA 48	– VOLUMES POR IDADE ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DE ANATRO MANUAL E DIGITAL	146

LISTA DE SIGLAS

ANATRO	–	Análise de tronco completa
ANOVA	–	Análise de variância
CAD	–	<i>Computer-Aided Design</i>
CAP	–	Circunferência à Altura do Peito – 1,3 m
CCD	–	<i>Charge Coupled Device</i>
CD	–	<i>Compact Disc</i>
DAP	–	Diâmetro à Altura do Peito – 1,3 m
DIN	–	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DNs	–	<i>Digital Numbers</i>
dpi	–	<i>dots per inch</i>
DSC	–	<i>Digital Still Camera</i>
DXF	–	<i>Drawing eXchange File</i>
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	–	<i>Environment for Visualizing Images</i>
GRIB	–	<i>gridded binary</i>
ICA	–	Incremento Corrente Anual
IDL	–	<i>Interactive Data Language</i>
IMA	–	Incremento Médio Anual
ISC	–	<i>Internal SCan Format</i>
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
JPEG	–	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
MB	–	<i>Megabyte</i>
RGB	–	<i>Red Green Blue</i>
SIGs	–	Sistemas de Informações Geográficas
SPRING	–	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
TIFF	–	<i>Tagged Image File Format</i>
USB	–	<i>Universal Serial Bus</i>

Resumo

A presente pesquisa teve por objetivo avaliar o emprego de técnicas fotográficas e de processamento digital de imagens na medição de anéis de crescimento para a análise de tronco. Foram analisados quatro métodos de obtenção de área transversal, considerando-se anéis pertencentes a cinco classes de diâmetro e a três classes de excentricidade. Fatias de 16 árvores de *Pinus elliottii* Engelm., retiradas a 0,0 m; 1,3 m; 50% e 80% da altura total do fuste foram fotografadas ainda na floresta com câmera comum 35 mm (*slides*) e com câmera digital. Para avaliar o desempenho das técnicas propostas em uma situação real de análise de tronco foi derrubada uma árvore adicional que teve fotografadas, com câmera digital, trinta fatias tomadas ao longo do fuste. Todas as fatias foram transportadas ao laboratório para secagem e posterior preparo com lixa. Com exceção das fatias coletadas para a árvore completa, todas as outras foram escanerizadas e importadas pelo *software* ArcView onde se obteve a área “real” de cada anel por vetorização em tela. A mesma metodologia foi aplicada às imagens dos *slides* escanerizados e às fotos digitais para obter áreas transversais dos anéis. O *software* DendroScan foi utilizado para medir os incrementos correntes ao longo de quatro raios digitais marcados sobre as imagens das fatias secas, lixadas e escanerizadas. O comprimento dos raios médios foi empregado na fórmula da área do círculo para obtenção da área transversal. Adicionalmente foi efetuada a medição manual de quatro raios marcados sobre as fatias secas e lixadas, usando-se régua comum. No total foram considerados 209 anéis para as análises. Regressões lineares entre áreas “reais” (variável dependente) e estimadas (variável independente) demonstraram que apenas para as áreas estimadas pelo *software* DendroScan não foram detectadas diferenças significativas em relação às áreas “reais” a um nível de probabilidade $p \leq 0,05$. Em cada um dos métodos foram calculadas, também, as diferenças percentuais médias absolutas entre áreas “reais” e áreas estimadas, tendo-se obtido os valores de 4,74%, 4,23%, 2,29% e 1,46% para os métodos que empregaram *slides*, fotos digitais, *software* DendroScan e medição manual, respectivamente. Análises de variância tendo como variável-resposta a diferença percentual absoluta entre áreas “reais” e estimadas revelaram que existe interação significativa entre um ou mais níveis dos fatores “método de obtenção da área - classe de diâmetro - classe de excentricidade”. Para anéis de medula centrada e diâmetros menores que 2,4 cm ou maiores que 16 cm, constatou-se não haver diferenças entre os métodos usados na estimativa de áreas transversais. Os métodos DendroScan e manual foram os mais acurados em todas as combinações de níveis e fatores. A árvore completa teve as áreas transversais dos anéis medidas sobre as imagens das fotos digitais utilizando-se o *software* ArcView e, também, por método manual nas fatias secas e lixadas. Testes *t* aplicados às duas séries de dados revelaram não haver diferenças significativas entre as estimativas de altura total a cada idade, enquanto que os volumes foram estatisticamente diferentes a um nível de confiança de 95%. Concluiu-se que, sob o ponto de vista prático, a utilização de técnicas fotográficas associadas a processamento digital de imagens é um procedimento exequível, eficaz e viável para a medição de anéis de crescimento em análise de tronco.

Palavras-chave: *Pinus elliottii*, SIG, incremento, fotos digitais

Abstract

The research objective has been to appraise the use of photographic and digital image processing techniques for the measurement of growth rings in stem analysis. Four methods for the estimation of cross-sectional area were analyzed. Rings from five diameter classes and three classes of eccentricity were considered. Disks from 16 *Pinus elliottii* Engelm. trees were cut at 0,0 m; 1,3 m; 50% and 80% of the total stem height and then photographed with a common 35mm camera (slides) and also with a digital camera while still at the forest. In order to appraise the performance of the proposed techniques in an authentic situation of stem analysis, an additional tree was felled and 30 disks were taken at various lengths of its stem and photographed with a digital camera. All of the disks were transported to the laboratory and placed in a drying oven for drying and further sanding. Except for the disks that were collected from the whole tree, all others were scanned and imported by the ArcView software, with the "actual" area of each ring being obtained through heads-up digitizing. The same method was applied to the scanned slide images and to the digital photographs in order to obtain the cross-sectional area of the rings. The software DendroScan was used for the measurement of the radial growth along four digital radii marked upon the images of the disks, after they were dry, sanded and scanned. The length of the mean radius was applied in the formula of the circle area in order to obtain the cross-sectional area. An additional manual measurement of four radii which were marked upon the dry and sanded disks was done with a common ruler. A total sum of 209 rings was considered for the analyses. As a result of the linear regression involving the "actual" and the estimated areas as the dependent and independent variables, respectively, it was found that only for the areas estimated by means of DendroScan there were no differences in relation to the "actual" areas at a probability of $p \leq 0,05$. The absolute average percentage differences between the "actual" and the estimated areas were also figured for each of the methods. Values of 4,74%, 4,23%, 2,29% and 1,46% were found for the methods based on slides, digital photographs, DendroScan software, and manual measurement, respectively. Analyses of variance in which the response-variable was the absolute percentage difference between "actual" and estimated areas, revealed that there is a significant interaction among one or more levels of the factors "methods for area estimation - diameter class - class of eccentricity". No differences among the applied methods were found for the estimation of cross-sectional areas regarding the centered pith rings and diameters below 2,4 cm and above 16 cm. The DendroScan and manual methods were the most accurate ones in all of the combinations of levels and factors. The whole tree cross-sectional areas of the dry and sanded disks were measured upon the digital photograph images by means of ArcView software and also manually. The *t* tests applied to the two series of data did not reveal significant differences between estimates of total height at each age, while the volumes were statistically different at a confidence level of 95%. From a practical point of view, it was concluded that the use of photographic techniques combined with digital image processing is a feasible, efficient and practicable procedure for the measurement of growth rings in stem analysis.

Keywords: *Pinus elliottii*, GIS, digital photography, increment

1 INTRODUÇÃO

O manejo florestal apropriado demanda dados em forma de séries temporais sobre a produção do povoamento em termos de área basal, volume e biomassa, além de outras características importantes como o diâmetro e a altura. Isso pode ser conseguido através de medições periódicas de parcelas permanentes num inventário florestal contínuo, através de dados provenientes de rolos de incremento (análise de tronco parcial) ou, ainda, por dados de crescimento obtidos por análise de tronco completa.

CHATURVEDI e KHANNA (1982) definem a análise de tronco como sendo a análise de um tronco inteiro através da medição de anéis anuais num determinado número de seções transversais a diferentes alturas para determinar as suas taxas de crescimento passado. As relações diâmetro-idade, altura-idade e volume-idade ao longo da vida da árvore analisada permitem acessar a taxa média de incremento em diâmetro, altura e volume. A análise dos anéis de crescimento permite investigar processos de crescimento considerando, também, os efeitos de fatores do ambiente para, finalmente, prever a produção futura (SHEA e ARMSON, 1972).

Tradicionalmente a análise de tronco completa tem sido realizada para desenvolver curvas de altura sobre idade na classificação de sítio (CAMPOS e TURNBULL, 1980; BAILEY et al., 1982, 1985), na elaboração de tabelas de produção (ROSOT et al., 1993,1995) ou para se estudar o crescimento em situações onde não há remediações extensivas de parcelas permanentes (BIGING e WENSEL, 1984).

A análise de tronco representa uma alternativa à obtenção de estimativas rápidas e confiáveis sobre o crescimento passado e a produção do povoamento, desde que a(s) espécie(s) em questão apresente(m) anéis anuais visíveis e com taxas de incremento que permitam a sua medição nas seções transversais.

Nas empresas florestais a análise de tronco tem sido utilizada, principalmente, para verificação das taxas de incremento médio da floresta, para avaliação da reação do crescimento a tratos culturais ou a determinadas práticas de manejo e para o

desenvolvimento de equações de índice de sítio. Trata-se, no entanto, de um procedimento laborioso, em primeiro lugar pelo trabalho de campo propriamente dito, que envolve a derrubada das árvores, a marcação e o seccionamento das fatias. Em seguida é necessário transportá-las ao laboratório, onde serão secadas e, depois, lixadas para facilitar a visualização dos anéis. Na última etapa são efetuadas, sobre cada fatia, a marcação e a medição de raios, cujas médias constituem o conjunto de dados gerador de todas as demais informações obtidas na análise de tronco.

Tendo em vista que esses fatores, em conjunto, muitas vezes restringem a aplicação da técnica, tornou-se oportuna a pesquisa de uma metodologia alternativa que eliminasse a fase do transporte do material ao laboratório, a secagem e a preparação das fatias para medição. Para tanto foram utilizadas técnicas fotográficas, adquirindo-se imagens das seções transversais no próprio local de derrubada e depois processando-as digitalmente para a obtenção de dados de incremento e produção em área transversal.

Em relação ao uso da fotografia, já consolidado em diversos ramos da ciência, o processamento digital de imagens ainda é uma técnica relativamente nova, cujo desenvolvimento está intimamente relacionado aos avanços da informática. Tem-se observado, notadamente na última década, o aparecimento de inúmeros sistemas computacionais para análise de imagens, alguns deles de domínio público. Para isso contribuiu, também, a recente popularização dos digitalizadores de mesa – os *scanners* – que permitem que imagens analógicas, como as de fotografias, sejam convertidas para formato digital.

Também no manejo florestal e, por conseguinte, na dendrometria, a combinação de técnicas de sensoriamento remoto e de processamento digital de imagens vem acompanhando uma tendência mundial no sentido de se aumentar a rapidez e a precisão na obtenção e processamento de dados, principalmente com o uso de geotecnologias.

Segundo GOMEL e CAMPOS (1993) os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) permitem a manipulação e o gerenciamento de uma grande quantidade de

dados alfa-numéricos e gráficos (como imagens digitalizadas), “relacionando-os entre si e fornecendo ao usuário uma facilidade de consulta, através de *interface* gráfica”. Essa característica e a intrínseca relação entre sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e SIGs motivou a investigação da viabilidade deste recurso para o estudo dos anéis de crescimento, considerando as diversas fatias tomadas ao longo do fuste de uma árvore.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram:

- a) propor, analisar e comparar procedimentos de obtenção de dados de área transversal para a análise de tronco usando técnicas fotográficas e processamento digital de imagens;
- b) avaliar o desempenho de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e de *software* específico para a medição de anéis de crescimento em meio digital;
- c) estabelecer metodologia para efetuar mapeamento de seções transversais em ambiente de geoprocessamento, associando informações gráficas e alfanuméricas de anéis de crescimento;
- d) comparar a acuracidade de áreas transversais medidas pelas técnicas propostas e também por método convencional, em função dos fatores:
 - método de obtenção da área transversal;
 - classe de diâmetro;
 - forma do anel de crescimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CRESCIMENTO

2.1.1 Conceito

O crescimento em altura e diâmetro (crescimento apical e radial, respectivamente) é o resultado da atividade dos tecidos meristemáticos, que representam uma fração bastante pequena da massa total da árvore (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979). O meristema apical forma o tecido primário responsável pelo aumento no comprimento do tronco e galhos. O câmbio vascular, derivado do meristema lateral, forma o tecido secundário, responsável pelo aumento em diâmetro. O xilema é formado pela diferenciação do câmbio para a parte interna da árvore, constituindo a sua parte lenhosa. O floema é resultante da diferenciação do câmbio para fora e é essencial para a árvore pelo fato de os nutrientes se movimentarem através das suas células.

Uma vez formado o tecido primário, o crescimento do xilema a cada ano é depositado externamente àquele dos anos anteriores e aparece como um anel na seção transversal, denominado anel de crescimento ou anel anual.

A atividade do câmbio, porém, não é contínua no tempo nem no espaço. Pode ocorrer generalizadamente na árvore toda em determinadas épocas e, em outras – como durante as secas, por exemplo – pode ser localizada. Uma árvore produz uma camada de xilema que varia em espessura a diferentes alturas do tronco e galhos; numa mesma altura varia em espessura ao redor da árvore. A duração da atividade cambial varia de acordo com o clima, espécie, classe de copa e posição na árvore, continuando por mais tempo nas partes superiores do fuste do que nas inferiores (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979).

Os parâmetros de crescimento específicos, como a largura dos anéis anuais e os incrementos correntes anuais em altura, são medidas das "taxas de produção por unidade dos elementos que estão atuando ativamente sobre o crescimento" (DUFF e

NOLAN, 1957). As medidas específicas do crescimento são influenciadas por fatores extrínsecos (ambientais) e por fatores intrínsecos, como forma da copa e área foliar (SHEA e ARMSON, 1972). Muitas das pesquisas desenvolvidas com base em dados provenientes de medições dos anéis anuais têm por finalidade estudar os efeitos dos fatores ambientais sobre o crescimento das árvores.

2.1.2 Estrutura dos Anéis de Crescimento

O xilema das coníferas é composto, na sua maior parte, por células traqueóides, que são longas e finas. Os traqueóides de *Araucaria angustifolia*, p.e., tem comprimento de cerca de 4,5 mm, podendo alcançar mais de 8,0 mm e largura de 0,03 mm (INOUE et al., 1984). Os eixos mais longos das células correm paralelamente ao eixo do fuste ou galho.

O anel anual divide-se em duas partes: inicial ou primaveril e tardio ou outonal. As células do lenho inicial são formadas no começo de cada estação de crescimento e se apresentam com paredes finas, lúmens grandes e adquirem, em conjunto, uma coloração clara (RICHTER e BURGER, 1978). Ao final do período vegetativo, normalmente no outono, a atividade cambial é reduzida e forma-se o lenho outonal, cujas células possuem paredes mais espessas e lúmens menores, apresentando, em conjunto, um aspecto mais escuro. O contraste entre as últimas células formadas no lenho tardio e as primeiras células do lenho primaveril do período seguinte determina o limite de um anel de crescimento.

Normalmente, em zonas de clima temperado, os anéis de crescimento representam o incremento anual da árvore. Em locais onde as condições climáticas se mantêm constantes durante grande parte do ano, os anéis de crescimento são pouco evidentes, dependendo, obviamente, das características próprias da espécie (RICHTER e BURGER, 1978).

Em termos gerais, o estudo dos anéis de crescimento nas gimnospermas é mais simples do que nas angiospermas pelo fato de as primeiras se caracterizarem por uma

forma de crescimento relativamente simétrica, ramificação monopodial e por troncos aproximadamente cilíndricos ou cônicos, enquanto que as últimas freqüentemente apresentam crescimento simpodial, troncos assimétricos e sapopemas. Nas gimnospermas ocorre, geralmente, uma transição gradual do lenho primaveril para o lenho outonal (em *Araucaria angustifolia*, p.e.) e uma transição abrupta do lenho outonal para o lenho primaveril do período seguinte (ECKSTEIN et al., 1980).

Muitas espécies existentes nos trópicos são capazes de formar anéis de crescimento, embora não necessariamente anuais (BONINSEGNA et al., 1989). Em algumas madeiras de folhosas os anéis de crescimento destacam-se pela presença de uma faixa de células parenquimáticas no limite dos anéis, combinada com porosidade em anel, como em *Parapiptadenia rigida* (BONINSEGNA et al., 1989) e *Swietenia macrophylla* (RICHTER e BURGER, 1978), ou porosidade em anel semi-circular – em *Cedrela fissilis* e *Cordia trichotoma*.

Em muitas seções transversais é comum a presença de uma faixa escura, semelhante à do lenho outonal, porém inserida na porção correspondente ao lenho primaveril do anel. São os chamados "anéis duplos", cuja formação pode ser atribuída a qualquer fator externo ou situação de "stress" que altere o funcionamento normal do câmbio como, p.e., geadas tardias, queda temporária das folhas, ataques de insetos (RICHTER e BURGER, 1978), ataques de fungos ou fogo (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979). No entanto, não há estudos comprovados sobre as influências climáticas na formação dos falsos anéis. Alguns autores (STOKES e SMILEY, 1968) sugerem a possibilidade de causas genéticas, uma vez que a tendência de produzir anéis duplos parece ser mais pronunciada em algumas espécies do que em outras.

Às vezes o câmbio está morto ou dormente em um dos lados da árvore, proporcionando a formação de anéis parciais ou descontínuos que não completam toda a circunferência. Devido a isso são denominados "falsos anéis". São encontrados em árvores velhas, em árvores que sofreram desfoliação intensa, em árvores suprimidas, em galhos velhos e em árvores que apresentam copa assimétrica (RICHTER e BURGER, 1978; KRAMER e KOZLOWSKI, 1979).

Em árvores muito suprimidas ou velhas é comum a formação de incrementos no xilema das partes superiores do fuste sem que ocorra nenhum anel anual nas partes mais inferiores (anéis "perdidos" ou "ausentes"). Também os galhos que sofrem supressão sucessiva pelos galhos superiores não produzem xilema no ponto de inserção no fuste (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979).

2.1.3 Fatores que Afetam o Crescimento Radial

O crescimento das árvores e a atividade cambial, especificamente, são influenciados pelo clima e condições meteorológicas. No entanto, as características inerentes a cada espécie e fatores limitantes bióticos e abióticos geralmente se sobrepõem aos efeitos climáticos. Na verdade, o crescimento das árvores é resultado da interação entre as características genéticas da espécie e o ambiente, representado pela agregação de fatores climáticos, características do solo, topografia e competição (HUSCH et al., 1982).

Por conseguinte, a largura dos anéis de crescimento também depende da qualidade do solo, da duração do período vegetativo, da temperatura e umidade, da insolação, da quantidade de dióxido de carbono e oxigênio disponível e dos tratamentos silviculturais (RICHTER e BURGER, 1978; SPIECKER, 1981; NOGUEIRA, 1989).

Segundo SCHWEINGRUBER (1993) podem ser relacionados vários fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento e a forma das seções transversais do fuste, entre eles:

a) Clima

Em regiões de alta precipitação a variação no padrão de seqüência dos anéis é mínima; no entanto, naqueles anéis em que a proporção de lenho outonal é grande, a variação é considerável. Já em regiões de precipitação mínima, a largura dos anéis pode ser extremamente variável.

b) Solo

A drenagem, profundidade e disponibilidade de nutrientes determinam a taxa de crescimento, que depende, também, do desenvolvimento da raiz (SPIECKER, 1981).

c) Luz

O crescimento das árvores é afetado diretamente pela disponibilidade de luz. O aumento da quantidade de luz em função de liberação das copas por ocasião de fogo, tempestade ou desbastes faz com que os anéis de crescimento sejam notadamente maiores nos anos seguintes. Árvores suprimidas, crescendo sob dossel fechado e recebendo iluminação deficiente, produzem anéis bastante estreitos e apresentam menor incremento em volume quando comparadas com árvores das classes intermediárias, codominantes e de crescimento livre (GILMORE e SEYMOUR, 1996).

d) Alterações locais causadas por vento e instabilidade de encostas

Nas coníferas essas alterações produzem lenho de compressão no lado do fuste que assume uma forma côncava; já nas folhosas é produzido lenho de tração no lado do fuste que assume forma convexa (ASSMANN, 1970; RICHTER e BURGER, 1978).

e) Vento

Ventos soprando constantemente de uma direção causam deformações na copa e formam seções transversais excêntricas e lenho de compressão. Quanto maior a intensidade do vento, maior a excentricidade.

A dimensão da copa também é um fator determinante no crescimento do fuste, pois a copa produz substâncias que atuam diretamente sobre a atividade cambial (SPIECKER, 1981), notadamente as auxinas e giberelinas. A redução do tamanho da copa – através da poda verde, por exemplo – tende a reduzir a produção de xilema nas regiões próximas à base da árvore, diminuindo, também, dessa forma, o afilamento da

base em direção à copa, embora árvores mais velhas sejam menos susceptíveis a esse efeito (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979).

2.1.4 Forma da Seção Transversal

Na verdade não existe uma forma geométrica média que possa representar a seção transversal das árvores. SIOSTRZONEK (1958), ao empregar mais de 20 fatias com aproximadamente 100 anéis cada, para a construção de uma “fatia-modelo”, concluiu que as árvores assumem sucessivas formas nas diversas fases de seu desenvolvimento. Especificamente no caso das fatias de *Picea* spp, investigadas por esse autor, as seções transversais observadas apresentaram as seguintes formas:

- a) circular com medula centrada;
- b) circular com medula excêntrica;
- c) oval ($\frac{1}{2}$ círculo + $\frac{1}{2}$ elipse), com medula excêntrica;
- d) forma mais pontiaguda que a oval, similar à combinação “parábola – círculo” ($\frac{1}{2}$ círculo + $\frac{1}{2}$ parábola);
- e) formas onduladas para os anéis mais externos (a partir daí obtém-se a transição para formas poligonais irregulares).

Segundo MATERN¹, citado por ASSMANN (1970) e SMALTSCHINSKI (1986), há, também, as seções denominadas orbiformes, que, embora diferentes do círculo, possuem o mesmo diâmetro em todas as direções.

A maior ou menor regularidade da forma das seções transversais pode ser expressa quantitativamente através dos parâmetros ovalidade² e excentricidade. O quociente entre o menor e o maior diâmetro (d/D) determina a ovalidade, enquanto que o quociente entre o menor e o maior raio (r/R) determina a excentricidade (WEISE,

¹ MATERN, B. On the geometry of the cross section. *Meddelanden fran Statens Skogsforskningsinstitut*, v. 46, n. 11, p. 1–28. 1958.

² Neologismo; tradução literal do alemão “Ovalität”

1987). Em termos práticos, um valor de 0,90 para a ovalidade, por exemplo, significa que a diferença entre os diâmetros extremos é de 10%. A excentricidade diz respeito ao afastamento da medula em relação ao centro geométrico da seção (TISCHENDORF, 1943). Quanto mais baixos os valores para ambos os quocientes, mais oval e mais excêntrica será a seção.

De forma oposta à ovalidade, a circularidade das seções transversais do fuste é uma característica extremamente desejável na produção de madeira serrada e afeta diretamente a produtividade da unidade industrial (SILVA, 2000).

A forma das seções transversais depende de fatores mais ou menos aleatórios, tais como a orientação das raízes ou inserção dos galhos, mas, sobretudo, da regularidade estática, que é função da unilateralidade da copa, determinada pela direção e intensidade dos ventos e declividade do terreno, entre outros fatores (TISCHENDORF, 1943).

Estudos realizados por WEISE (1987) com *Picea abies* e *Abies alba* demonstraram que existe baixa correlação entre ovalidade e excentricidade, tendo-se obtido coeficientes de correlação entre 0,49 e 0,54 ao se ajustar funções de 1º. e 2º. graus, em que a variável dependente era o quociente r/R (excentricidade).

2.2 ANÁLISE DE TRONCO (ANATRO)

2.2.1 Conceito e Utilização

A análise de tronco (ANATRO) é uma técnica que possibilita "o registro do crescimento passado de uma árvore" (HUSCH et al., 1982), mediante a contagem e medição dos anéis de crescimento de seções transversais tomadas a diversas alturas no tronco.

NAGEL e ATHARI (1982) consideram a análise de tronco uma importante fonte de dados para as seguintes linhas de pesquisa:

- a) investigação sobre a reação do crescimento em relação a fatores ambientais (bióticos, abióticos) e ao manejo do povoamento (adubação, poda, desbaste);
- b) avaliação das alterações de forma das árvores em função dos fatores mencionados no item (a);
- c) sincronização das medidas dos anéis de crescimento e determinação do número de anéis ausentes como indicadores do grau de danos sofridos pelas árvores;
- d) elaboração de modelos de produção.

TURNBULL (1958) utilizou análise de tronco para elaborar tabelas de produção, assim como ROSOT et al. (1993, 1995) que coletaram árvores pertencentes a classes de diâmetro definidas em função da média e do desvio-padrão da distribuição diamétrica do povoamento.

NOGUEIRA (1989) avaliou a reação do crescimento radial de *Araucaria angustifolia* em florestas naturais que sofreram corte seletivo utilizando dados de análise de tronco provenientes de árvores coletadas segundo três tipos de copa.

ROSOT et al. (1995) utilizaram dados de análise de tronco para construir tabelas de produção para povoamentos de *Pinus patula* na região de Manica - Moçambique. CAMPOS e TURNBULL (1980) testaram o método da análise de tronco para construir curvas de índice de sítio para *Pinus patula* em Minas Gerais.

ROSOT et al. (1993) elaboraram tabelas de produção para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. em Rio Negro - PR, utilizando dados de análise de tronco de 24 árvores distribuídas em seis classes de DAP estabelecidas em função do diâmetro médio aritmético e do desvio-padrão.

FIGUEIREDO FILHO (1991) avaliou os efeitos da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* baseando-se em dados de análise de tronco. GILMORE e SEYMOUR (1996) também utilizaram esta técnica para estudar a eficiência do crescimento do fuste para quatro posições sociológicas de *Abies balsamea*.

2.2.2 Técnicas Convencionais para Execução da ANATRO

A seleção das árvores para análise de tronco deve ser executada com critério e de acordo com os objetivos da ANATRO. É desaconselhável coletar árvores bifurcadas ou com outros defeitos, tais como fuste tortuoso ou copa quebrada (HERMAN et al., 1975).

O procedimento de campo para a análise de tronco consiste em:

- a) marcar na árvore a ser derrubada a altura do peito, 1,30 m, e um dos pontos cardeais (geralmente o Norte), para referência. Registrar a medida do DAP;
- b) efetuar a derrubada e o desgalhamento. Reconstituir o fuste, unindo pedaços da copa eventualmente quebrados durante a queda. Fazer coincidir a posição de 1,30 m da trena com o ponto marcado no fuste, medir e registrar a altura total da árvore;
- c) marcar e registrar os locais de retirada das fatias e neles marcar também o mesmo ponto cardinal marcado antes da derrubada;
- d) cortar e identificar as fatias, inclusive a face onde serão efetuadas as medições;
- e) colocar as fatias em recipientes arejados e transportá-las ao laboratório.

Se a altura marcada para a retirada das fatias coincidir com um verticilo, deve-se transferir a marcação e a retirada para o entrenó mais próximo.

Entre as alturas de retirada das fatias inclui-se, obrigatoriamente, a altura a 1,30 m, para cálculo do incremento em diâmetro, em área transversal e dos quocientes e fatores de forma. A fatia a 0,0 m deve ser extraída – pois representa o diâmetro real da árvore logo acima do solo e é o local onde se pode determinar a verdadeira idade da árvore (BARUSSO, 1977) – bem como a 0,30 m e a 0,70 m, para evitar a perda de informação da forma do fuste entre a base e o DAP. A altura de retirada das demais fatias vai depender do objetivo da análise de tronco, da espécie em questão e também do aproveitamento posterior da árvore derrubada (para serraria, laminação, celulose, resíduo).

FIGUEIREDO FILHO (1991), ao estudar os efeitos da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii*, empregou técnicas de análise de tronco retirando fatias em quatro pontos absolutos (a 0,0 m, 0,4 m, 0,7 m e 1,3 m) e em 18 pontos relativos à altura total da árvore (0,10h, 0,15h, 0,20h, ..., 0,95h).

Em estudos de eficiência do crescimento do fuste para quatro posições sociológicas de *Abies balsamea*, GILMORE e SEYMOUR (1996) selecionaram fatias para análise de tronco tomadas a 0,15 m, 1,30 m, 2,00 m e, a partir daí, de 1 em 1 metro até o topo da árvore.

Freqüentemente, do DAP em diante, tomam-se fatias de 1 em 1 m ou entre os verticilos (BARUSSO, 1977; ROSOT et al., 1993, 1995). Outros pesquisadores estabeleceram alturas de tomada das fatias a partir de 0,15m e, depois, sucessivamente, a cada 1,20 m (TURNBULL, 1958), a cada 1,50 m (BAILEY et al., 1982, 1985), a cada 2,00 m (MACHADO, 1978; CHYO et al., 1982) ou, ainda, a cada 4,80 m (HUSCH et al., 1982). HERMAN et al. (1975) efetuaram análise de tronco tomando fatias a 0,45 m, a 1,30 m, a 4,00 m, a 6,80 m, a 12,20 m e assim, sucessivamente, de 5,47 m em 5,47 m até o final.

No laboratório o procedimento usual é que as fatias sejam colocadas para secar à sombra, em local arejado e de pé (BARUSSO, 1977; MACHADO, 1978). No entanto, alguns autores constataam a necessidade de se minimizar os efeitos da contração radial que ocorre na seção transversal entre o período do corte da fatia até a efetiva medição no laboratório. SHEA e ARMSON (1972) sugerem, por exemplo, que as fatias sejam tratadas com uma solução de polietilenoglicol para prevenir a contração. Já HERMAN et al. (1975) afirmam que as dimensões da "madeira verde" são readquiridas imergindo os discos em água por 24 horas e deixando-os escorrer por 12 horas. No entanto as percentagens médias de contração após secagem à sombra e posterior reimersão de rolos de incremento encontradas por GRAHAM (1980) apresentaram valores diversos conforme as diferentes espécies consideradas e os

períodos de imersão em água. MACLEAN³, citado por BIGING e WENSEL (1984), estabeleceu um fator de correção para a contração radial com base nos valores de contração radial específicos e no conteúdo de umidade da madeira após a secagem.

O lixamento progressivo das fatias, iniciado com lixas mais grossas (NOGUEIRA, 1989), visa melhorar a identificação dos anéis. Porém, alguns autores consideram mais eficiente a utilização de uma plaina ou desempenador, que torna os detalhes dos anéis mais proeminentes (STOKES e SMILEY, 1968; HERMAN et al., 1975; CHYO et al., 1982; GOELZ e BURK, 1987).

Determinados produtos químicos podem ser empregados para tornar os anéis de crescimento mais distintos, entre eles fucsina a 1% (BARUSSO, 1977), azul de metileno (MAZA e PORTOGHESI, 1991), querosene, óleo leve ou mesmo água (HERMAN et al., 1975).

As técnicas de medição convencionais utilizadas para se obter a área transversal correspondente a cada idade envolvem a marcação e a medição de raios sobre a fatia e a posterior aplicação da fórmula da área do círculo (πR^2), em que R é a média dos raios medidos.

O número de raios, a disposição destes na fatia e a forma de calcular sua média são fatores determinantes na acuracidade das medições de área transversal (SIOSTRZONEK, 1958). Muitos autores têm adotado a medição de um único raio, denominado "raio médio" ou "raio representativo" (TURNBULL, 1958; SHEA e ARMSON, 1972; HUSCH et al., 1982; GOELZ e BURK, 1987); outros marcam o raio mais longo e, a partir dele, determinam um segundo raio a 180° (HERMAN et al., 1975). No Brasil tem-se optado por escolher o maior raio da fatia e, a partir dele, girando-se 45° no sentido anti-horário, marcar o primeiro raio a ser medido e a cada 90° um novo raio, perfazendo um total de quatro raios por seção (BARUSSO, 1977;

³ MACLEAN, J. D. **Effect of direction of growth rings on the relative amount of shrinkage in width and thickness of lumber and effect of radial and tangential shrinkage on dimensions of round timbers.** Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1945. 19 p. (USDA. For. Serv. Report R1473).

MACHADO, 1978; ROSOT et al., 1993,1995). NOGUEIRA (1989) utilizou procedimento similar, porém girando 22,5° no sentido anti-horário a partir do maior raio, conforme metodologia proposta por SIOSTRZONEK (1958). Outros, entretanto, costumam marcar o maior diâmetro e outro perpendicular a este (CHYO et al., 1982).

Uma vez marcados os raios deve-se proceder à contagem dos anéis no sentido casca-medula, verificando a existência ou não de falsos anéis ou anéis duplos (HUSCH et al., 1982). A seguir são medidos os comprimentos dos raios no sentido medula-casca, para cada anel ou grupos de anéis, como, por exemplo, de cinco em cinco – para avaliar o incremento radial em períodos de cinco anos – ou dez em dez, etc.

A média dos raios pode ser calculada através das seguintes fórmulas:

$$\text{a) média aritmética} \quad \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{b) média geométrica} \quad r_m = \sqrt[n]{r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_n}$$

$$\text{c) média quadrática} \quad r_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

em que:

r_m = raio médio

r_1, r_2, \dots, r_n = raios medidos, variando de 1 a n.

O raio médio multiplicado por dois resultará no diâmetro médio referente àquele anel. A repetição deste procedimento para todos os anéis de todas as fatias da árvore analisada apresenta resultados como exemplificado na Tabela 1:

TABELA 1 – EXEMPLO DE FICHA DE REGISTRO DE DADOS PARA ANATRO

ALTURA DA SEÇÃO (m)	DIÂMETRO MÉDIO DOS ANEIS (cm)					
	Casca	Anel 1	Anel 2	Anel 3	Anel 4	Anel ...
0,0	*	*	*	*	*	...
0,3	*	*	*	*	*	...
0,7	*	*	*	*	*	...
1,3	*	*	*	*	*	
2,3	*	*	*	*		
3,3	*	*	*			
4,3	*	*				
...				

SIOSTRZONEK (1958) e WEISE (1987) chegaram a resultados similares num estudo sobre os erros na obtenção de áreas transversais de fatias do fuste em relação ao número e localização dos raios e à forma de cálculo da média. Ambos salientam que os menores erros em relação à área transversal real⁴ são obtidos quando se emprega a média quadrática de oito raios, com ângulo de 45° entre si, independentemente de sua orientação em relação ao raio mais longo da fatia. Fazendo-se a média quadrática de quatro raios perpendiculares entre si, os erros ainda são baixos, especialmente quando um deles é marcado a 22,5° do raio máximo.

Quando se utiliza a média aritmética, a magnitude do erro depende bastante da ovalidade e excentricidade. Mantendo-se a excentricidade constante, os erros diminuem com o aumento da ovalidade; mantendo-se a ovalidade constante, os erros aumentam com o aumento da excentricidade. O alinhamento ótimo é obtido fazendo-se coincidir um dos quatro ou oito raios a serem medidos com o raio mais longo da fatia (SIOSTRZONEK, 1958).

Na Tabela 2 encontram-se relacionados o número de raios e sua respectiva orientação em relação ao raio máximo, bem como o tipo de média que conduz aos menores erros na estimativa de áreas transversais na análise de tronco de *Abies alba* e *Picea abies*, segundo SIOSTRZONEK (1958) e WEISE (1987).

⁴ A área real, nesse caso, foi obtida utilizando-se o planímetro polar.

TABELA 2 – ORIENTAÇÃO ÓTIMA DOS RAIOS A SEREM MEDIDOS NA ANATRO, CONFORME A QUANTIDADE DE RAIOS E TIPO DE MÉDIA EMPREGADA

NÚMERO DE RAIOS	MÉDIA	MELHOR ORIENTAÇÃO
4	aritmética	Um dos raios coincidindo com o raio máximo
	quadrática	Um dos raios a 22,5° do raio máximo ¹ , no sentido anti-horário
8	aritmética	Um dos raios coincidindo com o raio máximo
	quadrática	Irrelevante

¹Apenas para seções excêntricas e ovais. Se a seção transversal for excêntrica, porém circular, a orientação em relação ao raio máximo é irrelevante.

SMALTCHINSKI (1986), no entanto, ao efetuar estudos semelhantes aos de SIOSTRZONEK (1958), obteve os piores resultados medindo oito raios e empregando a média quadrática no cálculo do raio médio. Embora isso se deva – conforme opinião do próprio autor – ao baixo número de observações, a questão sobre o número necessário de raios depende da forma da fatia. Este sugere que a fatia seja planimetrada grosseiramente, que sejam medidos quatro e oito raios para o anel mais externo e que as diferenças entre áreas transversais “reais” e estimadas sejam avaliadas. Evidentemente o objetivo é atingir maior acuracidade com o menor número de raios.

A determinação do crescimento passado em altura representa um problema na análise de tronco, pois, devido ao padrão de crescimento cônico apresentado pelas árvores, a verdadeira altura total da árvore na idade correspondente ao número do anel na fatia considerada estará quase sempre localizada acima de onde foi tomada a seção (DYER e BAILEY, 1987).

Para calcular a altura do término do anel têm sido testados vários métodos. BARUSSO (1977) investigou três hipóteses:

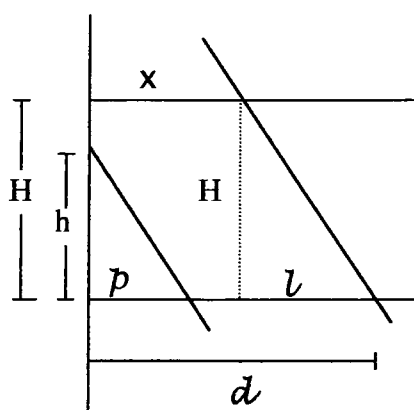
- o ângulo do término do anel a partir da última fatia onde aparece é igual ao ângulo da ponta da árvore considerando o último anel (mais externo);
- o término do anel se dá de acordo com o ângulo de saída da última fatia onde aparece e é igual ao ângulo imediatamente posterior (mais externo,

da medula para fora) (HUSCH et al., 1982; MAZA e PORTOGHESI, 1991);

- c) o anel sai da última fatia onde aparece por último com um ângulo igual ao que este mesmo anel tem na fatia a 1,30 m.

De acordo com esse autor, a melhor hipótese foi a segunda – baseada no paralelismo ao anel imediatamente anterior – cujo desenho diagramático é apresentado na Figura 1:

FIGURA 1 – DIAGRAMA DO MÉTODO DO PARALELISMO PARA INTERPOLAÇÃO DA ALTURA DO TÉRMINO DO ANEL



$$\frac{h}{H} = \frac{p}{l}$$

$$l = d - x$$

$$h = \frac{p \times H}{l}$$

Onde:

H = comprimento da seção

h = altura do término do anel

d = comprimento do penúltimo raio da fatia inferior

p = comprimento do último raio da fatia inferior

x = comprimento do último raio da fatia superior

A altura total da árvore na idade correspondente ao anel é obtida somando-se a altura de tomada da fatia inferior à altura estimada do término do anel.

DYER e BAILEY (1987) testaram seis métodos para determinar a altura do término do anel:

- a) gráfico - deve-se plotar a altura da fatia sobre a idade da árvore, desenhar uma curva sobre esses pontos e fazer a leitura da altura à idade desejada diretamente no gráfico;
- b) método de GRAVES (1906) - a altura do término do anel está na mesma proporção para o comprimento da seção assim como a proporção do número de anéis acabando naquela seção;
- c) método de LENHART (1972) - consiste numa ligeira modificação do método de GRAVES (1906). Baseia-se na suposição de que os pontos onde termina o crescimento em altura são igualmente espaçados ao longo da seção;
- d) método de CARMEAN (1972) - baseia-se em duas suposições: a primeira é que o crescimento anual em altura é constante para cada ano em que o crescimento em altura está total ou parcialmente contido na seção. Em segundo lugar pressupõe-se que, na média, o corte da seção dar-se-á na metade do crescimento anual em altura;
- e) método de NEWBERRY (1978) - Baseia-se na suposição de que a porção da árvore compreendida entre a altura de uma determinada fatia e o topo da árvore possui o mesmo afilamento, independentemente da idade. Este método é equivalente à primeira hipótese testada por BARUSSO (1977) e o cálculo do término do anel é efetuado através de procedimentos trigonométricos utilizando o conceito de semelhança de triângulos;
- f) método da razão - a altura associada a qualquer um dos anéis internos de uma fatia é estimada baseando-se em razões entre os raios dos anéis internos.

Segundo DYER e BAILEY (1987) o método mais acurado é o de CARMEAN (1972), seguido pelo de LENHART (1972) e pelo de NEWBERRY (1978).

Outra alternativa é a utilização de interpolação e extrapolação de funções *spline* para estimar as alturas totais a cada idade (LIU, 1979), tomando-se o cuidado de efetuar as aproximações somente para o anel mais interno em cada fatia. Se o procedimento for estendido aos outros anéis, os erros produzidos pela extrapolação matemática podem conduzir a incrementos negativos em altura (NAGEL e ATHARI, 1982).

Os volumes dos anéis em cada seção podem ser computados pelo método de Smalian, pois sendo conhecidos o diâmetro inferior e superior (correspondentes aos diâmetros de duas fatias consecutivas), calcula-se a média das áreas transversais multiplicada pelo comprimento da seção ou tora (MAZA e PORTOGHESI, 1991). Alternativamente pode-se empregar o método de Huber, que conduz a estimativas mais acuradas do volume da árvore para seções acima de 2 m de comprimento (FIGUEIREDO FILHO et al., 2000). Nesse caso torna-se necessário marcar o comprimento das seções no fuste e retirar as fatias para a análise de tronco do meio de cada seção.

Os volumes podem, também, ser calculados através da fórmula do tronco de cone (BARUSSO, 1977):

$$V_t = \frac{\pi H}{12} [d^2 + D^2 + dD]$$

em que:

V_t = volume do tronco de cone (m^3)

H = comprimento do tronco de cone (altura da seção - m)

d = diâmetro da parte superior da seção (m)

D = diâmetro da parte inferior da seção (m)

A ponta final compreendida entre a última fatia que contem o anel e o término deste comporta-se como um cone (BARUSSO, 1977; MAZA e PORTOGHESI, 1991).

$$V_c = \frac{\pi D^2 H}{12}$$

em que:

V_c = volume do cone (m^3)

D = diâmetro da base do cone (m)

H = altura do cone (m)

Somando-se os volumes de um determinado anel em todas as seções se obtém o volume total sem casca daquele anel, que é correspondente ao volume total da árvore em uma determinada idade.

Dados como o DAP, altura, área transversal e volume a cada idade servem de base para o cálculo dos incrementos correntes e médios, bem como dos fatores de forma.

2.2.3 Relações Diâmetro-Idade, Altura-Idade, Área Transversal-Idade, Volume-Idade

A análise de tronco completa oferece a possibilidade de se estudar o comportamento do diâmetro, área transversal, altura, volume e fator de forma ao longo dos anos de vida da árvore.

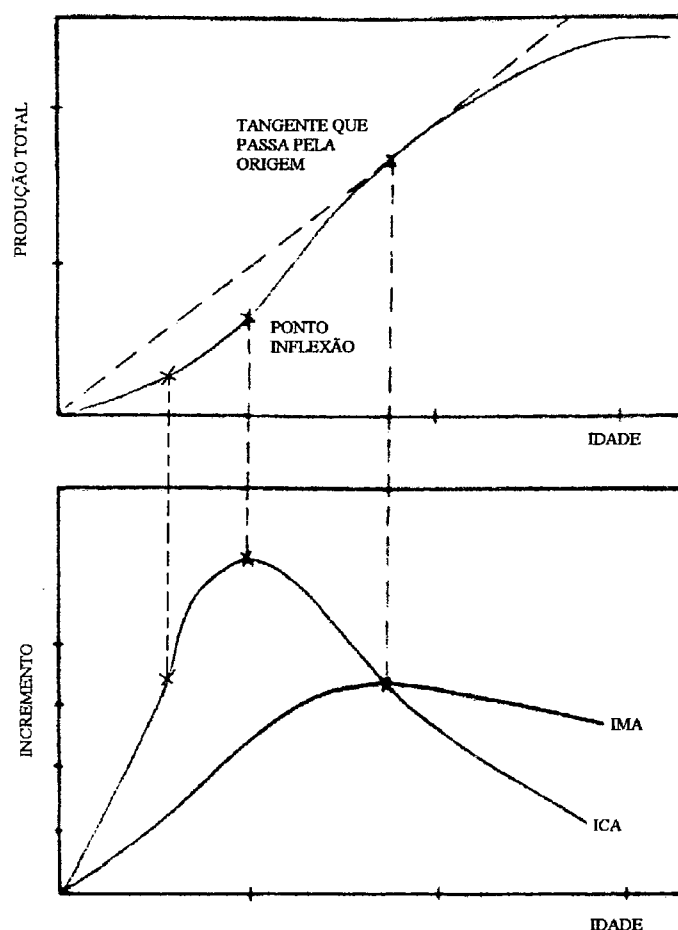
Quando alguma medida das dimensões da árvore (volume, peso, diâmetro, altura) é plotada sobre a idade, a curva gerada é comumente chamada de curva de produção integral e mostra o tamanho acumulativo a cada idade, possuindo, caracteristicamente, a forma de "S" ou sigmoidal (HUSCH et al., 1982). Quando os incrementos são plotados sobre a idade obtém-se uma curva de incremento ou curva diferencial (ASSMANN, 1970).

Na curva de incremento há dois pontos de inflexão e um ponto de culminação (fig. 2). Este último ocorre na mesma idade do ponto de inflexão da curva de produção. Os dois pontos de inflexão da curva de incremento marcam as divisões entre as três fases características no desenvolvimento das árvores: juvenil, madura e senescente. Na fase juvenil e senescente a curva de incremento apresenta-se convexa

em relação ao eixo do x (idade), enquanto que na fase madura ou de culminação, a curva é côncava em relação a esse eixo (ASSMANN, 1970).

O ponto de culminação da curva de incremento depende, em grande parte, das características intrínsecas da espécie e, também, da qualidade do sítio (ASSMANN, 1970). Para espécies não-tolerantes a tendência é a culminação precoce da curva de incremento. O mesmo ocorre para espécies crescendo em sítios bons. Já para espécies tolerantes ou para espécies crescendo em sítios ruins, a culminação ocorre mais tarde.

FIGURA 2 – CURVAS DE PRODUÇÃO E DE INCREMENTO



FONTE: Modificado de SCOLFORO (1990)

Em povoamentos equiâneos a quantidade de espaço de crescimento disponível afeta de maneira diferente o incremento em altura de coníferas e de folhosas

(ASSMANN, 1970). Nas coníferas, pequenas aberturas no dossel possuem um efeito favorável, aumentando o crescimento em altura. Nas folhosas o aumento do espaço disponível faz aumentar rapidamente o ângulo dos galhos, ampliando a copa e fazendo diminuir o crescimento em altura (ASSMANN, 1970).

Embora o diâmetro à altura do peito "não represente uma característica genuína da árvore" (ASSMANN, 1970) por não manter uma relação constante com as alterações contínuas das suas dimensões, quando plotado sobre a idade gera uma curva de crescimento acumulado em diâmetro similar à curva de crescimento acumulado em altura, embora na fase de maturidade a curva de diâmetro tenda mais à curvilinearidade (HUSCH et al., 1982). A curva de incremento em diâmetro é análoga à curva de incremento em altura.

Considerando-se as seções transversais de uma árvore como supostamente circulares, o incremento em diâmetro é equivalente a duas vezes o incremento radial ou duas vezes a largura do anel de crescimento. No entanto "o incremento em área transversal não depende apenas da largura do anel, mas, principalmente, do diâmetro da seção transversal do fuste ao qual ele é acrescentado" (ASSMANN, 1970). Quanto maior o diâmetro inicial, maior o incremento em área transversal para uma determinada largura do anel de crescimento. Devido a isso o incremento em área basal culmina consideravelmente mais tarde do que o incremento em diâmetro, conforme demonstrado por GUTTENBERG⁵, citado por ASSMANN (1970), ao estudar o crescimento e produção de *Picea* sp.

O incremento em diâmetro e em área transversal é bastante influenciado pelo espaço de crescimento disponível. À medida que esse espaço aumenta, aumenta também o incremento em área transversal até que o máximo espaço de crescimento disponível seja atingido (ASSMANN, 1970).

O incremento em volume é afetado pelos mesmos fatores – espécie, sítio, posição sociológica – que determinam o incremento em diâmetro e altura. A

⁵ GUTTENBERG, R. von. *Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge*. Wien: Leipzig, 1915. 153 p.

culminação da curva de incremento ocorre mais cedo para a altura, seguida pelo diâmetro, área basal, volume e peso. Além do incremento corrente anual (ICA) – obtido pela diferenciação da curva de crescimento – pode-se calcular o incremento médio anual (IMA) dividindo-se a produção pelas idades correspondentes, cuja culminação ocorre no ponto onde a curva do IMA intercepta a curva do ICA. A culminação do IMA em volume ocorre bastante tarde em árvores individuais, porém, em povoamentos – onde essa magnitude está ligada à área estocada e à progressiva redução do número de árvores – a culminação ocorre consideravelmente mais cedo (ASSMANN, 1970).

2.2.4 Equipamentos para Análise de Tronco

Nos métodos tradicionais de análise de tronco, as fatias são transportadas ao laboratório e, lá, a medição dos anéis pode ser efetuada utilizando qualquer sistema que seja suficientemente acurado (PILCHER, 1989). O mais simples, empregado em inúmeras pesquisas que envolvem análise de tronco (BARUSSO, 1977; MACHADO, 1978; NOGUEIRA, 1989; MAZA e PORTOGHESI, 1991; ROSOT et al., 1993; 1995), consiste em utilizar uma régua transparente e uma lupa. Colocando-se a fatia sob a lupa e fazendo-se coincidir o "zero" da régua com a medula (BARUSSO, 1977; HUSCH et al., 1982), lê-se diretamente o(s) comprimento(s) do(s) raio(s) para cada anel considerado. No entanto, PILCHER (1989) afirma que, em estudos dendrocronológicos, especificamente, necessita-se de um microscópio com qualidade suficiente para minimizar a fadiga ocular em medições contínuas. Além disso, considera fundamental que seja utilizado um sistema onde o operador não necessite escrever as medições efetuadas, de forma a reduzir os erros provenientes da transcrição de dados durante a digitação de formulários via teclado.

Há uma tendência geral de se adotar sistemas em que a base de medição possua uma interface eletrônica com um microcomputador que, nesse estágio, funciona como gravador e editor de dados. Ainda assim não podem ser excluídas as

probabilidades de erro humano – que depende da capacidade do operador em determinar o limite do anel – ou erros mecânicos/eletrônicos, que ocorrem em função da má regulação ou desestabilidade da plataforma de medição.

Muitos dos equipamentos utilizados na medição dos anéis, bem como diversos programas para processamento de dados, foram desenvolvidos por laboratórios que se dedicam a pesquisas no ramo da dendrocronologia. Essa ciência trata do estudo da sequência cronológica dos anéis de crescimento (STOKES e SMILEY, 1968), “ ... com o objetivo de datar eventos” (NOGUEIRA, 1989).

Os primeiros sistemas mecânicos consistiam em microscópio montado sobre uma plataforma que podia ser deslocada ao longo do material a ser medido (seção transversal ou rolo de incremento) girando-se um botão, de forma que o fio na ocular passasse visualmente sobre o lenho primavera do anel até a margem mais externa do lenho outonal do mesmo anel (STOKES e SMILEY, 1969). O deslocamento do microscópio (que equivale à largura do anel) ficava, então, registrado num mostrador. Esse valor, lido e arredondado para centésimos de milímetro, era gravado numa máquina de somar.

GRAHAM (1980) descreveu o equipamento conhecido como sistema eletrônico Addo-X (cujo princípio básico foi desenvolvido por ECKLUND, 1949), composto por uma unidade de medição, uma calculadora mecânica e uma perfuradora de cartões IBM 029, além de um microscópio com aumento de 20 vezes a 40 vezes. Nesse sistema o material na plataforma (motorizada) é que se desloca sob o microscópio, sendo esse deslocamento registrado automaticamente – com uma precisão de 0,01mm – e enviado para a calculadora a cada vez que se pressiona um botão. Embora o equipamento tenha se mostrado rápido, eficiente e suas medições mais acuradas quando comparadas àquelas obtidas no campo, GRAHAM (1980) salienta que podem ocorrer determinados erros de medição resultantes de queda de voltagem, ajustes na perfuradora de cartões e baixa velocidade de processamento.

LIU (1986) cita que JOHANN (1977) procurou melhorar a acuracidade na medição da largura dos anéis através da utilização de um decodificador eletrônico

empregado no sistema denominado "Digitalpositionimeter" (L. Kutschenreiter, Viena, Austria). Nesse sistema um transdutor fotoelétrico se deslocava ao longo de uma escala de vidro, detectando sua posição. As leituras das diferentes posições eram primeiramente visualizadas e armazenadas numa calculadora eletrônica e, depois, transmitidas a um computador. A largura do anel era obtida a partir da diferença entre duas posições de leitura.

NAGEL e ATHARI (1982) utilizaram tanto o sistema *Addo-X* quanto o aparelho desenvolvido por JOHANN (1977) para medir anéis de crescimento. SHEA e ARMSON (1972) efetuaram análise de tronco completa de *Pinus banksiana* empregando o equipamento original de ECKLUND (1949).

JORDAN e BALLANCE (1983) empregaram o sistema *Digimic* para obter dados de anéis de crescimento utilizando um gravador de fita cassete. A determinação dos limites dos anéis era feita com o auxílio de um microscópio binocular convencional que, após uso prolongado, causava fadiga ocular.

O sistema Tree-Ring Scanner, descrito por LIU (1986), foi construído em 1982 pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Kentucky (Lexington, E.U.A.) e era constituído por dois subsistemas de *hardware* e vários *software* para captação, recuperação, controle de qualidade e análise de dados. O primeiro subsistema de *hardware* consistia em um microcomputador ao qual estavam acoplados uma impressora e um modem acústico. O segundo subsistema era o *scanner* propriamente dito, que possuía três dispositivos. O primeiro servia para mover a amostra:

- a) ao longo do eixo *x*, sendo que o motor era ativado apertando-se um botão e a quantidade de deslocamento equivalia à largura do anel, com precisão de centésimo de milímetro. Esse procedimento é similar ao de outros equipamentos já mencionados;
- b) ao longo do eixo *y* - para ajustar a posição da fatia para a medição;

- c) em círculos, em torno do eixo z, através de uma plataforma giratória, que permitia leituras digitais em intervalos de $\pm 0,5$ graus, servindo para detectar anéis perdidos ou ausentes.

O segundo dispositivo era o de imagem e consistia num microscópio com *zoom* de projeção estereoscópica, além de iluminador e câmera. A projeção era feita em cor natural, o que facilitava a detecção de lenho primaveril e outonal. O grau de ampliação variava de 7,5 vezes a 50 vezes. A câmera possibilitava a criação de um par estereoscópico da imagem projetada.

O terceiro e último dispositivo era um mostrador digital, onde eram visualizadas as medições efetuadas, que podiam ser transmitidas diretamente para o computador apertando-se um botão. O sistema também permitia correções "on-line".

Atualmente a parte eletrônica de transmissão de dados do *Tree-Ring Scanner* encontra-se desativada devido a incompatibilidades entre o antigo sistema PCM e o então vigente sistema DOS (Liu, 1999⁶)

Em COOK e KAIRIUKSTIS (1989) encontram-se sumarizados os principais sistemas (*hardware e/ou software*) utilizados na medição de anéis de crescimento até o final da década de 80:

- a) *Belfast Tree-Ring Programs* - Queen's University - Belfast, Irlanda do Norte
- b) CATRAS (*Computer Aided Tree-Ring Analysis System*) - Institut für Holzbiologie - Universität Hamburg - Alemanha
- c) TRIMS (*Tree-Ring Incremental Measuring System*) - Madera Software - Tucson, Arizona - E.U.A
- d) *CompU-TA Tree-Ring Measuring System* - CompU-TA - La Mesa, California - E.U.A.
- e) MEASU-CHRON *Digital Micrometer - Measuring Stage* - Micro-Measurement Technology - Bangor, Maine - E.U.A.

⁶ Liu, C. 1999. University of Kentucky. Comunicação pessoal

- f) *System Digital-Positiometer - Measuring Stage* - Leopold Kutschenreiter - Viena - Austria
- g) *ADDO Tree-Ring Measuring Machine* - Malmo, Suécia

GRISSINO-MEYER (1999) descreve as principais características de alguns dos programas mais usados na análise dos anéis de crescimento, tais como:

- a) *ITRDB Program Library v.2.1*: é uma coletânea de programas desenvolvidos pelo Laboratory of Tree Ring Research (Henri Grissino-Meyer, Tucson, Arizona) para adquirir, manipular, analisar e mostrar dados de anéis de crescimento. Atua em modo DOS, apresenta ajuda "on-line" e menu, além de farta documentação. Inclui o "Dendrochronology Program Library", baseado em *software* desenvolvido para uso em computadores *mainframe*.
- b) *TREERING 3.0* (desenvolvido por Harold C. Fritts - Laboratory of Tree Ring Research, Arizona): envolve modelagem de processo em termos de resposta de atividade cambial e estrutura dos anéis a variações climáticas diárias. O modelo provê cálculos de balanço hídrico, fotossíntese, estoque de carbono, crescimento de copa e atividade cambial; além disso são produzidos gráficos mostrando os valores diários dos processos reguladores do crescimento (p.e. número de células que estão se dividindo, crescendo e amadurecendo).
- c) *TSAP (Time Series Analysis Program)*: programa desenvolvido por Frank Rinn e Siegward Jaekel, em Heidelberg na Alemanha, cuja arquitetura é baseada na manipulação de séries temporais orientadas a objetos, independentemente da origem e formato. O programa efetua medições, manipulação de banco de dados e apresentação de séries temporais de anéis de crescimento. Trabalha associado ao equipamento LINTAB (Frank Rinn Distributors, Alemanha) que consiste numa plataforma com mesa móvel onde é colocada a fatia, além de uma pequena manivela para

movimentar a mesa. Com o auxílio de lupa o operador determina o limite dos anéis ao longo do(s) raio(s) selecionado(s), sendo que o deslocamento da plataforma que contem o disco equivale à largura do anel. Esse valor é automaticamente registrado e armazenado para cálculos posteriores pressionando-se o botão de um dispositivo eletrônico conectado ao computador e ao equipamento de medição.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

2.3.1 Conceito de Sensoriamento Remoto

A definição mais ampla de sensoriamento remoto aborda o conceito de “reconhecimento à distância” (CAMPBELL, 1996). AVERY e BERLIN (1992) definem sensoriamento remoto como sendo a técnica de se obter informações sobre objetos através da análise de dados coletados por instrumentos (sensores) que não estão em contato físico com os objetos em questão. Nesse sentido, imagens obtidas por câmeras fotográficas, sejam elas resultantes de uma perspectiva aérea ou não, podem ser consideradas como produto de técnicas de sensoriamento remoto.

2.3.2 Sistemas Sensores

A maioria dos sistemas de sensoriamento remoto registra a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto, fenômeno ou área de investigação (JENSEN, 1996). A detecção de energia eletromagnética pode ser efetuada fotográfica ou eletronicamente. O processo da fotografia convencional usa reações químicas na superfície de um filme sensível à luz para detectar as variações de energia numa cena. As vantagens da utilização de filmes incluem o seu baixo custo, relativa simplicidade de uso e integridade geométrica (LILLESAND e KIEFER, 1994).

2.3.2.1 Sensores fotográficos

As câmeras fotográficas mais comuns são as denominadas “35 mm SLR” (*single lens reflex* ou *monoreflex*), que utilizam filme fotográfico cujos negativos individuais possuem dimensões 24 mm x 36 mm. Por se tratar de câmeras amadoras não-métricas, não possuem calibração executada em laboratório para definição de sua geometria interna e, assim, apresentam erros relacionados com a forma das imagens e a posição dos pontos (DISPERATI, 1991). No entanto, existem métodos para calibração de campo, aplicáveis às câmeras 35 mm (ANDRADE, 2001).

Nas câmeras não-métricas é necessário que o objeto ou cena a ser fotografado seja focalizado através da regulagem da distância focal, que é a distância do centro da lente ao ponto focal, no plano de formação da imagem (CAMPBELL, 1996). De acordo com a distância focal as lentes das câmeras 35 mm podem ser classificadas em (DISPERATI, 1991):

- a) grande-angulares – com distância focal variando de 28 mm a 35 mm;
- b) normais – com distância focal de 50 mm a 55 mm;
- c) telefotos – com distância focal de 135 mm.

Segundo DISPERATI (1991) “... a lente normal produz [...] a mais perfeita fotografia possível, com poucos erros que afetam a definição (*sharpness*), tamanho e cor na imagem fotográfica”.

A resolução é um importante parâmetro a ser definido nos sistemas de imageamento por fotografia e pode ser entendida como a capacidade de um filme registrar detalhes espaciais finos (CAMPBELL, 1996). A propriedade física mais importante de um filme na determinação da resolução é a distribuição de tamanho de seus grãos de haleto de prata (AVERY e BERLIN, 1992). Quanto maior o grão, menor será a capacidade de detalhamento dos objetos.

O tamanho dos grãos das emulsões fotográficas está diretamente relacionado à velocidade do filme, que é a medida da sua sensibilidade à luz refletida. Um filme

“rápido” incorpora grãos de diâmetro grande (filme de granulosidade grosseira) e requer apenas condições mínimas de luz para produzir exposições adequadas. No entanto, apresenta como desvantagem, a redução da resolução (AVERY e BERLIN, 1992). Por outro lado, os filmes de granulação fina permitem o registro de finos detalhes espaciais, mas, geralmente, requerem tempos maiores de exposição, razão pela qual são denominados filmes “lentos”. A velocidade de um filme pode ser medida pelo sistema ISO (E.U.A.), que usa escala aritmética, ou pelo sistema DIN (Alemanha), que emprega o sistema logarítmico para expressar a sensibilidade do filme (DISPERATI, 1991). Assim, valores de ISO iguais a 25, 64 ou 100, caracterizam filmes mais lentos do que os de ISO 400, por exemplo.

Outra característica importante a ser considerada quando da tomada das fotos é a profundidade de campo, definida como a maior distância, em profundidade, que pode haver entre dois objetos, mantendo-se suas respectivas imagens em foco (ANDRADE, 1998). A profundidade de campo proporciona um efeito de maior nitidez à cena fotografada e está diretamente relacionada à abertura do diafragma. Este dispositivo funciona de forma similar à íris do olho humano e, juntamente com a velocidade do obturador da câmera, regula a quantidade de luz que atinge o filme. A abertura relativa é denominada *f / number* ou *f / stop* e é calculada por:

$$f / stop = \frac{f}{d}$$

sendo:

f = distância focal

d = diâmetro da lente

Se mantida constante a distância focal, quando o diâmetro de abertura da lente aumenta, o *f / stop* diminui e vice-versa (AVERY e BERLIN, 1992). As séries internacionais de *f / stops* são: $f/1$; $f/1.4$; $f/2.8$; $f/4$; $f/5.6$; $f/8$, ... Quanto menor o valor no denominador, maior a quantidade de luz que atingirá o filme. Para manter uma exposição correta, é necessário que a velocidade do obturador diminua à medida que o *f/stop* aumenta. As câmeras *monoreflex* 35 mm possuem cronômetros de alta precisão

que determinam quanto tempo a luz incidirá sobre o filme. Os valores para a velocidade são dados em frações de segundo, como, por exemplo, 1/1 s; 1/2 s; 1/30 s; 1/60 s e assim por diante.

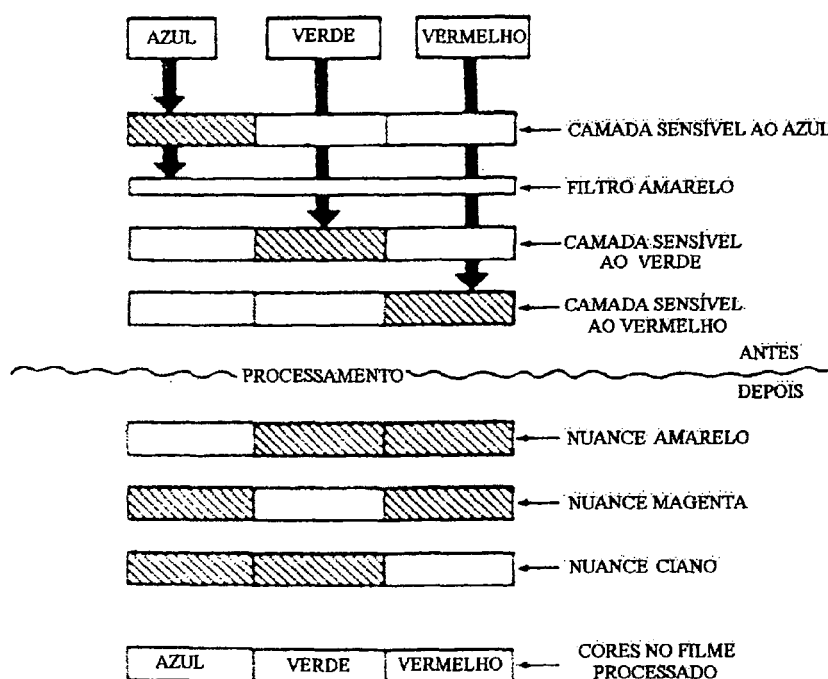
Os filmes utilizados em fotografia podem ser classificados em dois grandes grupos: preto e branco e colorido. Os primeiros se subdividem, ainda, em pancromáticos (sensíveis à luz de todas as cores) e infravermelhos (sensíveis à luz dessa porção do espectro). Os filmes coloridos podem ser, também, sensíveis ao infravermelho ou colorido normal.

Atualmente os filmes coloridos negativos são os mais comuns e produzem transparências coloridas negativas. Porém muitos dos filmes coloridos empregados em sensoriamento remoto são do tipo *reversal films* ou filmes reversíveis. Esses filmes caracterizam-se por produzirem transparências coloridas positivas (*slides*), nas quais a relação de cores entre o objeto fotografado e a sua imagem correspondente no filme é aproximadamente igual (CAMPBELL, 1996). Os filmes tipo *slide* são superiores em relação aos demais em termos de definição das imagens e reprodução das cores, sendo especialmente adequados para ampliação e/ou reprodução de imagens em papel (DISPERATI, 1991).

CAMPBELL (1996) descreve as características de filmes reversíveis coloridos e as representações de cor nos diapositivos (*slides*). Os filmes reversíveis possuem três emulsões separadas, cada uma delas sensível a uma das cores primárias aditivas (azul, verde e vermelho). A camada entre a emulsão superior (sensível à luz azul) e a emulsão intermediária (sensível ao verde) atua como um filtro amarelo, que impede que a luz azul passe pelas camadas superiores e exponha as emulsões inferiores. Durante a exposição do filme, a luz azul expõe a camada azul, passa por ela, mas não consegue expor as outras duas devido à presença do filtro amarelo. A luz verde passa pela camada azul e expõe a emulsão sensível ao verde. A luz vermelha passa por todas as camadas superiores para expor somente a emulsão vermelha, que está abaixo das outras.

Depois do processamento, todas as áreas que não foram expostas à luz azul apresentam-se em tons amarelos, enquanto que as áreas expostas ao azul ficam transparentes na emulsão azul. Áreas expostas pela luz verde na emulsão verde também ficam limpas; outras áreas são representadas por tons magenta. Na camada sensível ao vermelho as áreas não expostas à luz vermelha aparecem em ciano, enquanto que os objetos vermelhos aparecem transparentes nessa emulsão. Sendo assim, cada uma das camadas que, antes do processamento, era sensível a uma das cores primárias aditivas, após o processamento contem uma das cores primárias subtrativas (amarelo, magenta e ciano). Quando o filme processado é visto como uma transparência sob uma fonte de luz, os tons magenta e ciano presentes nas áreas expostas à luz azul se combinam para formar a cor azul. Analogamente, amarelo e ciano combinam-se para formar o verde, enquanto que o amarelo e o magenta darão origem à cor vermelha (fig. 3).

FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DAS CORES NOS FILMES REVERSÍVEIS



FONTE: Adaptado de CAMPBELL (1996)

2.3.2.2 Sensores eletrônicos (câmera digital e *scanner*)

A detecção eletrônica da energia eletromagnética é efetuada através de sensores que geram um sinal elétrico correspondente às variações de energia na cena original (LILLESAND e KIEFER, 1994). Os dispositivos eletrônicos responsáveis pela captação da energia são denominados CCDs (*charge coupled device* – dispositivos de carga acoplada) e consistem num conjunto de células fotossensíveis, encaixadas num *chip* de silicone, que recebe os fótons da cena. Geralmente é empregado um sistema óptico para coletar, filtrar e focalizar a radiação (CAMPBELL, 1996). Esse é o princípio básico de funcionamento das câmeras digitais, onde o filme no plano focal é substituído por uma matriz de detectores fotossensíveis (CCDs de área), num processo conhecido como “fotografia digital” (LILLESAND e KIEFER, 1994). Quando a luz atinge a matriz de detectores, cada célula acumula uma carga elétrica proporcional à intensidade da radiação incidente. Uma vez fechado o obturador da câmera, a carga acumulada é transferida, linha a linha, da matriz para um circuito digitalizador (DISPERATI et al., 2000). O sistema digitalizador é responsável pela conversão analógico-digital (A/D), num processo em que os sinais elétricos originais do sensor são convertidos em informação digital (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999). Como resultado obtém-se uma matriz bi-dimensional, onde cada elemento é denominado pixel (*picture element*).

A posição do pixel é definida pelos valores de x e y , num sistema de coordenadas “linha, coluna”. O brilho ou radiância média medida eletronicamente sobre a área de cada pixel corresponde à sua intensidade e é representada pelo valor de z ou número digital (DN – *digital number*) ou, ainda, nível de cinza. Na maioria dos sistemas um valor de z igual a zero representa o preto absoluto, enquanto que o valor mais alto representa o branco absoluto (JAGELS e TELEWSKI, 1989). Os DNs que constituem uma imagem digital são registrados em amplitudes numéricas que variam conforme o número de *bits* dos códigos binários empregados. Num sistema de 8 *bits*, por exemplo, podem ser representados 256 níveis de cinza ($2^8=256$). As imagens

coloridas geradas pelas câmeras digitais possuem 24 bits, sendo 8 bits por canal RGB (DISPERATI et al., 2000).

A estrutura das imagens geradas pela conversão analógico-digital é denominada *raster* ou matricial por ser composta de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado (CÂMARA e MEDEIROS, 1998), no caso, o próprio número digital (DN).

Os CCDs apresentam resposta linear a intensidade de brilho, de forma que as imagens produzidas com o uso desses dispositivos possuem uma relação mais consistente com a amplitude de radiância que emana do objeto considerado quando comparadas às imagens obtidas por processos fotográficos convencionais (CAMPBELL, 1996).

As imagens das câmeras digitais são gravadas em cartões de memória, disquetes ou CDs ópticos. A inconveniência de armazenamento em disquete é a sua baixa capacidade (1,44 Mb), incompatível com o tamanho das imagens geradas, especialmente as de alta resolução.

Segundo MOON (2000) existem, atualmente, três modelos de cartões de memória disponíveis no mercado, com capacidade de armazenamento variando entre 8 Mb e 96 Mb. Recentemente foi lançada uma câmera digital em que as imagens são armazenadas em CD óptico regravável, com capacidade de 156 MB (MENCONI, 2000).

A transferência das imagens digitais da câmera para o computador pode ser feita diretamente através da inserção do cartão de memória em computadores do tipo *laptop*, ou, então, através de cabos adaptadores.

Uma questão ainda crítica quanto às câmeras digitais é o seu poder de resolução, que depende diretamente do número de colunas e linhas da matriz do CCD e, também, de suas dimensões. Os tamanhos das matrizes variam tipicamente de 512 x 512 pixels a 2048 x 2048 pixels ou mais (LILLESAND e KIEFER, 1994). Considerando-se, por exemplo, um CCD de 14 mm x 9,3 mm e uma imagem de

1524 colunas x 1012 linhas, o tamanho de cada pixel equivale a 0,0092 mm ou 9,2 μm . Obviamente quanto menor o tamanho do pixel, melhor a definição das imagens. No entanto o poder de resolução das câmeras geralmente é fornecido em termos do número de pixels que formam as imagens e as que contêm mais de um milhão de pixels (“megapixel”) são as de melhor resolução. À medida que a resolução aumenta, aumentam também os requisitos para armazenagem dos dados. A cada aumento de duas vezes na resolução, é necessário um aumento de quatro vezes na capacidade de armazenamento (LILLESAND e KIEFER, 1994). Recentes inovações na tecnologia de fabricação de sensores permitiram o desenvolvimento de uma pastilha semi-condutora que consome apenas um quinto da energia normalmente gasta pela operação dos CCDs (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999). Essa nova tecnologia, denominada CMOS, já está sendo empregada em câmeras digitais de alta resolução, possibilitando o registro de imagens em situações de luminosidade quase nulas e com reduzido consumo de energia (VIDA, 2000).

Numa comparação entre câmeras digitais e convencionais, nestas últimas, por analogia, os pixels seriam os grupos de grãos de haleto de prata. Enquanto que os pixels num dispositivo CCD são uniformes em tamanho e forma e são arranjados num padrão geométrico sistemático (bi-dimensional), os “pixels” da fotografia convencional possuem forma, tamanho e distribuição espacial aleatória. Na determinação de uma resolução equivalente em termos de número de pixels para um negativo individual em filme 35 mm, um número razoável se situaria em torno de 2,5 a 3 milhões de pixels (LILLESAND e KIEFER, 1994). No entanto, em VIDA (2000), fotógrafos profissionais estimaram que a suposta resolução em pixels das câmeras fotográficas convencionais seria equivalente a 17 milhões de pixels. A controvérsia entre os números pode ser devida àquilo que se está considerando: o negativo ou a cópia ampliada em papel. Segundo PHILIPS⁷ (2000) pode-se ampliar até dez vezes o tamanho original do negativo e ainda não se terá atingido o tamanho do grão da emulsão.

⁷ PHILIPS, J. 2000. Universidade Federal de Santa Catarina. Comunicação pessoal.

A distância focal das lentes utilizadas nas câmeras digitais não é diretamente comparável àquelas usadas nas câmeras 35 mm convencionais. Como o tamanho do CCD é menor do que o quadro individual do filme fotográfico 35 mm, a distância focal nas câmeras digitais é sempre maior do que a distância focal nominal da lente usada (DISPERATI et al., 2000).

ANDRADE (2001) relaciona entre as vantagens da utilização de câmeras digitais, a facilidade de manipulação das imagens em computadores. Quando comparado com o produto das câmeras convencionais, o tratamento das imagens digitais é mais efetivo, pois, na imagem analógica, uma vez revelado o filme, as possibilidades de manipulação visando melhorar a qualidade da foto são reduzidas.

Além disso as câmeras digitais permitem a obtenção de imagens em tempo quase real e pode-se descartar instantaneamente produtos não satisfatórios, adquirindo-se tantas imagens quanto a capacidade de armazenamento permitir.

Outro sensor eletrônico que utiliza os dispositivos de carga acoplada é o *scanner* ou digitalizador. A digitalização matricial ou *scanning* efetuada pelos *scanners* é o processo óptico e eletrônico para transformar imagens analógicas em imagens digitais no formato *raster* (varredura) (MITISHITA, 1997). Ao contrário das câmeras digitais, que empregam CCDs de área, a varredura matricial linear utiliza sensores CCD lineares. “A informação luminosa da imagem bi-dimensional é convertida em sinais elétricos através de varredura espacial perpendicular à linha sensora, ou seja, através do deslocamento relativo do sensor em relação à imagem em questão” (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999).

A resolução óptica dos *scanners* geralmente é fornecida em número de pixels por polegada (dpi – *dots per inch*). No entanto MITISHITA (1997) comenta que a forma de definição mais completa da resolução seria aquela expressa em termos da resolução na linha de escanerização (eixo x) e no sentido da varredura (eixo y). Os *scanners* de mesa encontram-se, hoje, disponíveis no mercado de acessórios para computadores pessoais e são equipamentos de custo relativamente baixo (SABINS, 1997).

2.3.3 Conceito de Processamento Digital de Imagens

Processamento digital de imagens é a manipulação numérica de imagens digitais através de analisadores eletrônicos que, em conjunto, formam os sistemas de tratamento de imagens (ROSA, 1995). O objetivo de se utilizar processamento digital de imagens "é melhorar o aspecto visual de certas feições para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser, posteriormente, submetidos a outros processamentos" (SPRING, 1998b).

A representação digital, de uma forma geral, aumenta significativamente a habilidade de se examinar, visualizar e analisar dados obtidos por sensoriamento remoto (CAMPBELL, 1996).

2.3.4 Etapas do Processamento Digital

MARQUES FILHO e VIEIRA NETO (1999) descrevem as principais etapas do processamento digital de imagens (fig. 4). A aquisição envolve a conversão da imagem em uma representação numérica adequada para o processamento digital subsequente, no processo denominado conversão analógico-digital (v. item 2.3.2.2). Com a utilização de sensores eletrônicos, tais como câmeras digitais, essa etapa é desnecessária, uma vez que a imagem já se encontra em formato digital.

A quantidade de *bytes* (*B*) necessários para armazenar uma imagem monocromática em disco é determinada por (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999):

$$B = \frac{(NPH \times NPV \times NBT)}{8}$$

onde:

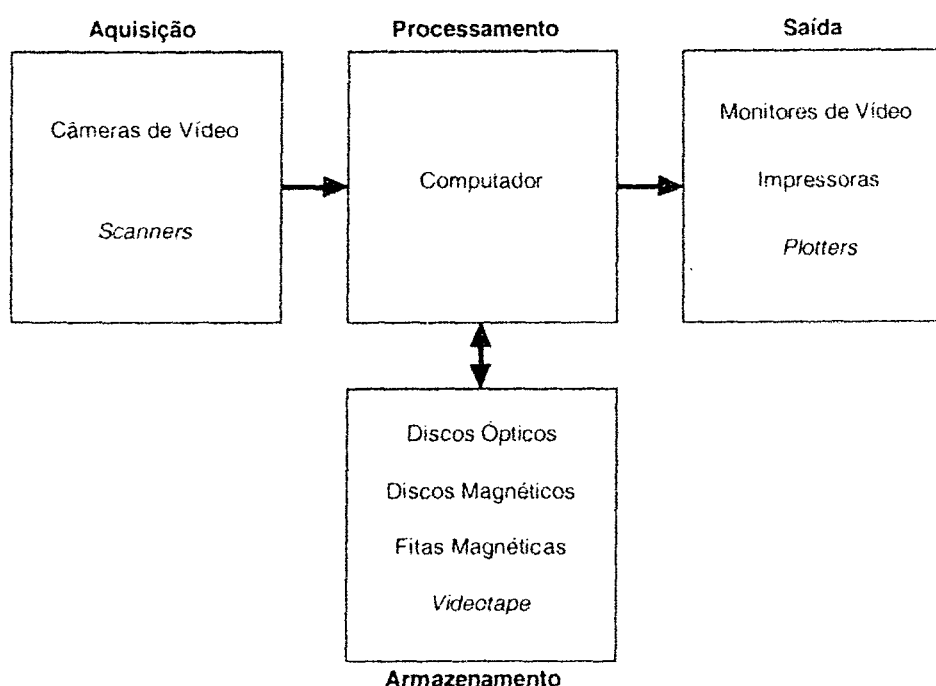
NPH = número de pixels na horizontal;

NPV = número de pixels na vertical;

NBT = número de bits necessários para a escala de cinza.

Para imagens coloridas esse número é multiplicado por três. Dessa forma pode-se afirmar que o armazenamento é uma etapa crítica do processamento digital de imagens. Com a recente popularização das gravadoras de CD e dos CD-RWs (*rewriteable* CDs ou CDs regraváveis) que conseguem armazenar até 650 Mb, dispõe-se de uma alternativa viável para o armazenamento e arquivamento de imagens para recuperação e manipulação futuras.

FIGURA 4 – ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS



FONTE: MARQUES FILHO E VIEIRA NETO (1999)

Uma revisão sobre os principais formatos de arquivos de imagens pode ser encontrada em MARQUES FILHO e VIEIRA NETO (1999). Um dos formatos mais versáteis e universais é o TIFF (*Tagged Image File Format*), adequado para vários tipos de aplicações e suportado por diversas plataformas de *hardware*. O formato JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) tem sido bastante utilizado para o armazenamento digital de fotografias e para apresentação de imagens na Internet.

Oferece a maior taxa de compressão existente para as imagens fotográficas, o que faz com que o tamanho dos arquivos em JPEG seja significativamente menor do que o daqueles em formato TIFF.

A maioria das funções de processamento de imagens pode ser implementada através de *software*, sob forma algorítmica (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999). Uma das operações mais importantes é o realce de imagens, que altera o impacto visual da imagem sobre o intérprete, de forma a melhorar o conteúdo de informações (SABINS, 1997). Dentre as rotinas de processamento mais utilizadas no realce de imagens encontram-se o realce de contraste, fatiamento, realce de bordas, *sharpening* ou efeito de foco, mosaicagem e transformação no espaço de cores.

A classificação (multi)espectral, incluída entre as operações de “extração de informações”, surgiu como uma alternativa potencial à interpretação visual de imagens. Segundo LINHARES e PONZONI (2000) a rapidez do algoritmo classificador torna-se uma evidente vantagem quando o processo de edição (intervenção do intérprete sobre o mapa oriundo da classificação digital) é pequeno ou inexistente. JENSEN (1996), no entanto, relata a ressurgência da arte e ciência da fotointerpretação à medida que os sensores remotos digitais provêem imagens de resolução espacial mais alta. Segundo NOVO (1992) e RICHARDS (1993), para determinados tipos de dados de sensoriamento remoto, o processamento digital é uma etapa que precede a análise visual dos dados e pode ser bastante útil à fotointerpretação. LILLESAND e KIEFER (1994) consideram que as técnicas visuais e numéricas são complementares e que a utilização de uma ou outra (ou ambas conjugadas) depende da aplicação em questão.

A etapa de exibição ou “saída” nos sistemas de processamento de imagens envolve a utilização de monitores de vídeo, que servirão para a visualização da(s) imagem(ns) durante e após o processamento e, também, dispositivos para a reprodução das imagens em papel. A resolução do monitor de vídeo é um elemento determinante na capacidade de visualização dos detalhes da imagem e depende dos circuitos eletrônicos e do tamanho dos pontos de fósforo na tela (MARQUES FILHO e VIEIRA

NETO, 1999). Atualmente a resolução mínima apresentada pelos monitores é de 640 x 480 pixels, com 256 cores distintas, podendo chegar a 1024 x 768 pixels para imagens de 32 *bits*, que representam milhões de cores, em monitores de 15 polegadas com placas de vídeo de 32 MB ou mais.

2.3.5 Aplicações do Processamento Digital de Imagens

Técnicas de análise de imagem, combinando processamento digital e análise visual, têm sido empregadas nas mais diversas aplicações biológicas, incluindo-se aquelas ligadas à botânica, agricultura e ciências florestais.

O desenvolvimento de sistemas computadorizados sofisticados para o processamento de imagens digitais permite a medição rápida de características anatômicas de sistemas biológicos, em termos quantitativos e qualitativos, além de possibilitar a visualização das alterações que ocorrem no tempo e no espaço em forma de gráficos.

LIER et al. (1993) empregaram cópias digitalizadas de fotografias para calcular a percentagem de cobertura do solo por *Crotalaria juncea* L., determinar a porosidade a partir de lâminas delgadas de amostras de solo e determinar a área foliar.

WILCKEN et al. (1998) compararam área foliar consumida por lagartas utilizando três métodos: aquisição de imagens por *scanner* e processamento de imagens, pesagem e planímetro, concluindo que não há diferenças estatísticas entre os métodos, porém o tempo de medição é reduzido em cerca de 80% quando são empregadas técnicas de análise de imagem.

A mesma metodologia foi adotada por CALDAS et al. (1992) para estimar área foliar de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus torreliana*. Alternativamente foram escanerizadas além das folhas *in natura*, fotocópias das mesmas. Resultados de uma calibração efetuada com papel milimetrado revelaram, porém, superestimativas de área em torno de 1% quando se utilizam fotocópias.

Técnicas de análise de imagem também foram aplicadas na quantificação de lesões causadas por fungos (LINDOW e WEBB (1983); TUCKER e CHAKRABORTY (1997)). Nesses estudos os *software* empregados forneceram como resultado a percentagem de área foliar total comprometida pelas lesões. Além disso, com base no seu tamanho e características, as lesões foram classificadas em três diferentes categorias quanto à severidade da infecção.

SANO et al. (2000) analisaram imagens digitalizadas de amostras de café torrado e moído contendo impurezas. Utilizando um algoritmo de classificação supervisionada (máxima verossimilhança) e o *software* SPRING⁸, os autores obtiveram a percentagem de área de material misturado, convertendo-a, posteriormente, para percentagem de peso através de curvas de calibração.

Muitas das técnicas utilizadas na área de tecnologia e anatomia da madeira requerem o conhecimento, diferenciação e quantificação de grandes quantidades de dados de imagens. Visando a identificação e classificação de lenho de compressão, ANDERSON e WALTER (1995) empregaram uma câmera CCD e um *software* para processamento de imagens de discos de toras de *Picea abies*. O algoritmo classificador usado (máxima verossimilhança) foi eficiente apenas em duas das categorias consideradas, gerando estimativas tendenciosas quanto à área da fatia que apresentava compressão severa.

SCHAITZA et al. (1998) relataram o uso de metodologias alternativas e de baixo custo para a aquisição e processamento de imagens na área de qualidade da madeira. As aplicações se concentraram na medição de áreas transversais de corpos de prova e de comprimentos de fibras da madeira e rachaduras nos topos de toras. Foram utilizados *scanners*, mesa digitalizadora, câmera digital, câmera de vídeo e placa de captura. Os resultados demonstraram que, além da boa precisão, os novos métodos apresentam a vantagem da rapidez e repetibilidade nas medições.

⁸ SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (INPE)

2.3.5.1 Técnicas de análise de imagem no estudo dos anéis de crescimento

Visando processar a informação oriunda de imagens, McMILLIN (1982) desenvolveu um sistema composto por *scanner*, computador e *software* de análise de imagens para avaliar taxas de crescimento e proporção de lenho outonal de anéis de crescimento, determinar dimensões de células e detectar apodrecimento na madeira. Relatou, também, o uso de tomografia computadorizada axial em toras de *Pinus* sp. Nesse processo foi possível identificar claramente fatias de lenho primaveril e outonal, medula, lenho juvenil, nós e áreas de crescimento irregular dos anéis de crescimento, próximas aos nós.

FAYLE et al.(1983) adaptaram o sistema *Digimic*, desenvolvido por JORDAN e BALLANCE (1983), de modo a possibilitar a transmissão dos dados para um computador *Apple II Plus*, permitindo ao usuário:

- a) visualizar – em tempo real – gráficos que mostram o padrão de crescimento radial da árvore analisada;
- b) comparar gráficos de medições sucessivas (até duas seqüências por vez), inclusive selecionando porções do gráfico para ampliações e alterações de escala;
- c) detectar e corrigir possíveis erros no modo de edição, além de imprimir os gráficos e gravar os dados em disquete.

Uma câmera de vídeo era acoplada ao microscópio e a imagem dos anéis aparecia ampliada em um monitor colorido. A paleta de cores podia ser alterada para facilitar a detecção de falsos anéis e melhorar o contraste para a determinação dos limites dos anéis. Um programa em Fortran foi utilizado para processar os dados gravados em disquete, calculando diâmetros, áreas transversais, volumes e incrementos.

YANOSKY e ROBINOVE (1986) foram, talvez, os primeiros pesquisadores a efetuar medições de área e estruturas anatômicas de anéis de crescimento usando

software de processamento de imagens de satélite. Com o auxílio de uma câmera de vídeo e um digitalizador, imagens de rolos de incremento e seções transversais de *Pinus taeda* e *Fraxinus pennsylvanica* puderam ser visualizadas no monitor do microcomputador e armazenadas para análise posterior. A cada pixel foi atribuído um valor de nível de cinza numa escala de 8 bits ($2^8=256$ níveis, 0=preto, 255=branco). Devido à natureza do sistema digitalizador as imagens originais possuíam baixo contraste, o que constituiu um problema na resolução de características individuais. Um dos sub-programas do RIPS (*Remote Information Processing System*), desenvolvido pelo Serviço de Levantamento Geológico dos E.U.A., permitia aumentar o contraste da imagem, atribuindo a cada pixel original um novo valor de brilho (ou nível de cinza) e distribuindo esses novos valores ao longo de toda a amplitude da escala (256 níveis). Outra ferramenta utilizada permitia a digitalização via tela, ou seja, o operador podia desenhar limites ao redor de qualquer parte desejada da imagem e gravá-la como uma imagem separada. A medição de áreas foi efetuada colocando-se uma grade reticulada precisa de 1cm de lado sobre o material e digitalizando-se o conjunto. Foi contado, então, o número de pixels por centímetro quadrado. Primeiramente foram calculadas as áreas individuais de 12 anéis de uma fatia de *Pinus taeda* através de processamento de imagens digitais, que depois foram comparadas com as respectivas áreas determinadas por repetidas e precisas medições utilizando planímetro. Constatou-se que os dois conjuntos de medições diferiram, em média, $2,6 \pm 1,5\%$ por anel, o que sugere que a análise de imagens permite boas estimativas de áreas reais.

JAGELS e TELEWSKI (1989) descrevem a utilização de análise morfométrica de anéis de crescimento através de técnicas de análise de imagem em computador. Segundo os autores, a análise morfométrica permite o estabelecimento de padrões de resposta da árvore a estresses climáticos ou outros "estresses" de causa natural, a poluentes de origem antrópica ou a práticas de manejo florestal. As primeiras pesquisas se concentraram na determinação dos limites de lenho primaveril e outonal, para cálculo de suas proporções dentro do anel. Posteriormente foram

ênfatisadas características particulares das células, tais como diâmetro dos traqueóides ou espessura da parede, como forma de avaliação indireta de influências do ambiente, como, por exemplo, fotoperíodo e quantidade de precipitação. As madeiras de coníferas cuja transição entre lenho primaveril e outonal é gradual – como em *Araucaria angustifolia*, p.e. – apresentam problemas quando se deseja analisar variações sazonais na produção de madeira. Com o auxílio de sistemas semi-automatizados de análise de imagem os autores avaliaram os parâmetros morfométricos de espessura da parede celular e forma da célula que permitiram diferenciar lenho primaveril e outonal.

Enquanto técnicas de análise de imagens vêm sendo empregadas já há algum tempo na anatomia da madeira e no estudo dos anéis de crescimento em nível microscópico (VETTER, 1995), a sua utilização em avaliações macroscópicas é bem mais recente e está relacionada ao desenvolvimento de *software* para processamento de imagens, sejam eles específicos para aplicações dendrométricas ou não.

THETFORD et al. (1991) desenvolveram um sistema para a medição de anéis de crescimento em estudos dendrocronológicos, que determina, ao mesmo tempo, a densidade e a largura dos anéis. O programa, denominado *Macdruid*, detecta automaticamente os limites dos anéis de crescimento e permite que o usuário corrija eventuais erros de delimitação. Os autores citam outro sistema similar, *Macdendro*, que, no entanto, está limitado a uma resolução equivalente a 6 anéis por milímetro (largura de 0,17 mm). Para espécies plantadas no Hemisfério Norte essa preocupação é justificável, devido às taxas de crescimento relativamente baixas.

JONSSON (1992) investigou o uso potencial de análise de imagem na contagem automática do número de anéis anuais nas extremidades de toras. Sempre que a largura dos anéis ao longo do raio considerado era de cerca de 0,8 mm, o programa não conseguia detectar alguns dos anéis da seção. Larguras de anéis inferiores a 0,5 mm impossibilitavam a sua identificação.

Técnicas de análise de imagem aplicadas à análise de tronco foram empregadas por TASSISA e BURKHART (1997) para estudar as variações verticais e

laterais na largura média dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus taeda* submetidas a diferentes intensidades de desbaste. As árvores selecionadas foram seccionadas em intervalos de 1,22 m desde a base até um diâmetro de ponta igual a 5 cm e do topo de cada seção foi retirada uma fatia de cerca de 2,5 cm de espessura. No laboratório a porção (raio) considerada representativa de cada fatia foi seccionada em formato de barra com largura e espessura de 5 mm. O sistema de análise de imagem utilizado (Serviço Florestal norte-americano – Athens, Georgia) possibilitava a medição direta dos anéis de crescimento à medida em que a barra extraída da fatia passava sob um *scanner* óptico. O operador possuía resolução visual da seção e o contraste entre o lenho outonal escuro e o lenho primaveril claro servia para estabelecer os limites entre os anéis. Para cada anel de cada amostra obteve-se a largura do lenho primaveril, a largura do lenho outonal e a largura total do anel (soma das larguras de lenho outonal e primaveril). Esses dados foram utilizados para avaliar os efeitos do desbaste e desenvolver um modelo preditivo da largura dos anéis.

No Brasil, RIGOZO e NORDEMANN (2000) vêm desenvolvendo um novo método interativo de análise de imagens para determinar a espessura dos anéis de crescimento. O sistema utiliza um computador, um *scanner* de alta resolução para adquirir as imagens das fatias em formato digital e um programa desenvolvido no ambiente IDL 5.0 (ENVI)⁹, que lê e realça as imagens. A delimitação dos anéis ao longo do raio selecionado é efetuada pelo operador com auxílio do *mouse*. O programa calcula, então, a largura dos anéis, gerando um gráfico com as posições de cada anel em função da distância da medula e dos níveis de cinza da imagem. Também é criado um arquivo de dados contendo a série temporal das espessuras dos anéis. Em se tratando de anéis muito estreitos, os autores recomendam empregar resoluções de 900 dpi a 1200 dpi durante o processo de escanerização.

ROSOT et al. (2000, 2001a) utilizaram a imagem escanerizada de uma fatia de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. para testar a viabilidade do uso de técnicas de análise de imagem na estimativa de áreas transversais. As áreas “reais”

⁹ IDL (ENVI) – Interactive Data Language (The Environment for Visualizing Images – Research Systems Inc.)

correspondentes aos anéis foram obtidas por planimetria eletrônica, com precisão de 1 mm^2 . Além disso, foram medidos raios equidistantes sobre a fatia (séries de 4 e 8 raios), conforme procedimento usual em análise de tronco, com a finalidade de comparar os resultados com aqueles obtidos por planimetria e por técnicas de análise de imagem. Foi empregado o *software* SPRING, importando-se a imagem para o projeto e submetendo-a a técnicas de realce de contraste com o objetivo de melhorar sua qualidade. A individualização dos anéis foi efetuada mediante vetorização em tela, utilizando-se o *mouse* do cursor para definir os limites dos anéis, tendo como fundo a imagem da fatia. Procedeu-se, então, ao ajuste e poligonalização das linhas criadas e à posterior associação de cada polígono a um determinado anel de crescimento. O tratamento dos anéis como objetos de um mapa cadastral permitiu a obtenção de suas áreas individuais e a utilização do módulo de consulta a objetos, o que, por sua vez, possibilitou a exportação dos resultados em forma tabular para outro aplicativo e a posterior obtenção da produção e incremento em área transversal a cada idade. A realização do teste *t* para amostras emparelhadas permitiu concluir que, a um nível α de probabilidade igual a 0,05, não existe diferença significativa entre áreas obtidas por planimetria e por técnicas de análise de imagem. As diferenças entre as áreas transversais estimadas pelo SPRING e as áreas “reais” situaram-se, em média, em torno de 0,25% por anel, oscilando entre um mínimo de -0,01% e um máximo inferior a 2,4%.

GRISSINO-MEYER (1999) apresenta uma breve descrição dos principais sistemas de análise de imagem, empregados no estudo dos anéis de crescimento. Entre eles os mais utilizados são:

- a) *DendroScan* (University of British Columbia, Vancouver, Canada): é um programa que converte imagens escanizadas de raios-X (positivos ou negativos) – originalmente em níveis de cinza – em imagens de densidade. Também identifica limites, mede e conta anéis. Pode utilizar imagens escanizadas diretamente de madeira bem lixada (nesse caso não fornece as densidades).

- b) *DendroLab 470* (Stefan Knochenhauer, Viena, Austria): é um sistema de *hardware/software* que obtém dados de anéis de crescimento a partir de rolos de incremento, seções transversais e imagens escanizadas. O programa *DendroControl* configura o equipamento e capta as medições efetuadas armazenando-as em banco de dados Access para uso posterior. Também permite efetuar filtrações, além de visualizar, imprimir e plotar dados.
- c) *WinDENDRO* (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá): é um sistema semi-automatizado de análise de imagem, especificamente projetado para medição de anéis de crescimento, análise de densidade e rotinas de análise de tronco através da utilização de *scanner* óptico colorido.

2.4 TÉCNICAS FOTOGRÁFICAS APLICADAS AO ESTUDO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

A análise de tronco é um procedimento considerado laborioso em virtude de dois aspectos: o primeiro diz respeito ao trabalho de campo propriamente dito, envolvendo a derrubada da árvore, seccionamento das fatias e posterior transporte ao laboratório. Em segundo lugar está a quantidade de tempo necessária para efetuar as medições sobre as fatias. BIGING e WENSEL (1984) citam que, já no começo do século, alguns pesquisadores se preocuparam em reduzir o trabalho de determinação de volumes no campo utilizando o método do planímetro (REINECKE, 1926) ou fazendo decalques da superfície do disco em papel com grafite (DOUGLASS, 1919). HERMAN et al. (1975) empregaram procedimento análogo, porém utilizando transparências plásticas para marcar os limites dos anéis ao longo dos raios selecionados; outra medida para reduzir o volume de material coletado foi transportar ao laboratório apenas a parte da fatia que continha o raio considerado como representativo.

BARUSSO (1977) sugeriu que fossem feitas fotocópias das fatias após a secagem e marcação dos raios e que os anéis fossem medidos sobre o papel e não sobre o material original. Segundo o autor este procedimento é satisfatório, pois, mesmo perdendo-se em nitidez no conjunto, os cruzamentos dos raios com os anéis estarão bem demarcados. Embora o "método da fotocópia" não elimine a fase de transporte das fatias do campo ao laboratório, o manuseio é facilitado por ocasião das medições e, para um mesmo espaço físico, pode ser arquivada uma maior quantidade de dados.

O emprego de técnicas fotográficas no estudo dos anéis de crescimento remonta à primeira metade do século XX, quando rolos de incremento montados sobre pranchas eram fotografados e, posteriormente, medidos na foto impressa em papel (HILF e SCHMEEL, 1930; DOUGLASS, 1943). Para que as medições fossem exatas recomendava-se que a distância focal da objetiva utilizada fosse igual ou maior à diagonal do negativo, o que caracteriza as lentes normais (DISPERATI, 1991).

A investigação sobre o volume de defeitos nas árvores de *Pinus contorta* causados por besouros, levou os pesquisadores THIES e HARVEY JR. (1979) a desenvolver um método fotográfico que consistia em fotografar as seções transversais das árvores amostradas e medir a área defeituosa utilizando um planímetro eletrônico. Optou-se por uma câmera do tipo Polaroid para que as fotografias pudessem ser verificadas no local quanto à exposição e ao foco. A escala era calculada a partir da imagem de uma régua colocada sobre a fatia antes da tomada das fotos. As áreas transversais e as distâncias entre as fatias foram usadas para calcular os volumes. As estimativas das áreas com defeito, determinadas pelo método fotográfico, concentraram-se num intervalo de $\pm 5\%$ em relação às áreas verdadeiras, medidas com planímetro diretamente sobre a fatia. Testes com fotos de papel milimetrado revelaram a inexistência de erros relacionados à distorção de escala nas várias partes das fotografias.

BIGING e WENSEL (1984) descrevem uma técnica fotográfica para análise de tronco de coníferas da Califórnia - E.U.A., onde foi empregada uma câmera

fotográfica 35 mm e filme colorido para fotografar as fatias no campo, logo após a derrubada das árvores. Uma régua comum foi colocada sobre cada fatia para indicar a escala da fotografia. O fator determinante na resolução da foto está representado pela relação entre a distância da câmera à fatia e a largura dos anéis de crescimento. Utilizando a função digitalizadora de um microdensitômetro, as transparências fotográficas foram escanerizadas a uma resolução de 0,00127 mm. A imagem foi projetada em tela com aumento de 20 vezes e, através do cursor, o operador determinava os limites dos anéis, cujas coordenadas cartesianas eram gravadas em fita magnética. Os autores citam como vantagem do emprego da técnica fotográfica a redução de tempo na coleta dos dados, a eliminação da necessidade de transporte de grandes quantidades de material ao laboratório e a diminuição de problemas associados à contração radial das fatias. A restrição quanto à utilização deste método está relacionada ao equipamento usado em laboratório (microdensitômetro), desenvolvido pelo Laboratório de Ciências Espaciais da Universidade de Berkeley-California.

GOELZ e BURK (1987) empregaram técnica fotográfica semelhante à de BIGING e WENSEL (1984), porém utilizando equipamento mais acessível a pesquisadores florestais. Trabalhando com *Picea glauca* e *Abies balsamea*, também utilizaram câmeras 35 mm para fotografar as fatias, com filme colorido e preto e branco, porém não no campo, mas, sim, sob casa de vegetação e tenda de sombreamento, que, em conjunto, permitiam a passagem de 11% da luz incidente, aproximando-se, assim, das condições de luminosidade na floresta. Foi escolhido um raio aleatório, marcado de forma permanente nas fatias. A distância radial entre o câmbio e cada anel de crescimento foi medida manualmente utilizando microscópio binocular e régua com precisão de 0,02 cm. A medição manual e o procedimento fotográfico foram repetidos depois que a região da fatia contendo o raio selecionado foi aplainada. As cópias impressas (8,9 cm X 12,7 cm) das fotografias foram digitalizadas via mesa digitalizadora conectada a um microcomputador IBM XT, com uma resolução de 0,00254 cm. Empregou-se um programa em linguagem BASIC para

converter as coordenadas cartesianas em incrementos correntes anuais. A cada disco foram aplicados seis métodos de medição: 1) não-aplainado, manual; 2) aplainado, manual; 3) não-aplainado, fotografia colorida; 4) aplainado, fotografia colorida; 5) não-aplainado, fotografia preto e branco; 6) aplainado, fotografia preto e branco. Analisou-se apenas os 15 incrementos mais externos para cada disco. Os autores concluíram que as fotografias em preto e branco de fatias não-aplainadas são uma alternativa satisfatória ao transporte das seções ao laboratório, pois as medições utilizando este método não diferiram significativamente daquelas obtidas manualmente. Sugerem, ainda, ampliações das fotos das fatias que possuem incrementos em períodos de 5 anos iguais ou inferiores a 0,5 cm, para que sejam obtidos melhores resultados. Ressaltam, porém, que a adequabilidade de procedimentos fotográficos parece depender da espécie e, portanto, estudos-piloto devem ser efetuados antes de se empregar a técnica em outras espécies.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ORIGEM DOS DADOS

As árvores cujas seções transversais foram empregadas nesta pesquisa foram coletadas em dois povoamentos puros de *Pinus elliottii* Engelm., eqüiâneos, com 22 e 17 anos (figs. 5a e 5b, respectivamente), pertencentes à Embrapa Florestas e localizados no município de Colombo – PR.

O relevo predominante na região dos povoamentos varia de plano a suave-ondulado. O clima da região é do tipo *Cfb*, segundo a classificação de Koeppen, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, portanto sempre úmido, com ocorrência de mais de cinco geadas por ano e com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C (MAACK, 1981). Os ventos predominantes sopram na direção norte-sul.

Em ambos os povoamentos foram efetuados apenas desbastes seletivos, sendo três intervenções para o povoamento mais velho e duas, para o mais novo. Não há registros de ataques de pragas ou de ocorrência de doenças, considerando-se o estado fitossanitário geral dos povoamentos como bom. Não foram efetuadas correções no solo ou adubações e os tratos culturais incluíram operações comuns como coroamento, capina e roçada nos primeiros anos.

FIGURA 5 – VISTA PARCIAL DOS POVOAMENTOS ONDE FORAM COLETADAS AS ÁRVORES-AMOSTRA



(a) *Pinus elliottii*, 22 anos



(b) *Pinus elliottii*, 17 anos

Para análise das técnicas fotográficas foram coletadas fatias de três árvores no povoamento mais velho e treze árvores no povoamento mais novo, a quatro diferentes alturas no fuste, perfazendo um total de 64 fatias. Árvores bifurcadas, inclinadas ou com ferimentos no tronco foram descartadas durante a fase de seleção. No povoamento mais novo foi derrubada mais uma árvore para se efetuar a análise de tronco completa em ambiente de geoprocessamento.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PRELIMINARES

A definição dos métodos a serem aplicados para a obtenção de áreas transversais utilizando técnicas fotográficas e de análise de imagem baseou-se num estudo-piloto, efetuado previamente à coleta dos dados. Esse estudo teve por objetivo verificar a factibilidade das metodologias propostas quanto aos seguintes aspectos:

- a) utilização do *software* SPRING para:
 - obtenção de áreas transversais de objetos vetorizados em tela;
 - mapeamento de anéis de crescimento empregando imagens escanizadas de fatias do tronco;
- b) aquisição de imagens das fatias utilizando:
 - câmera convencional 35 mm, com filmes preto e branco, colorido e *slides*;
 - câmera digital, de vários modelos e diferentes resoluções;
 - câmera de vídeo VHS;
- c) utilização do *software* DendroScan para a determinação dos limites dos anéis de crescimento;
- d) utilização do *software* ImageTool para análise da forma e determinação da área das seções transversais.

Foram empregadas fatias de *Araucaria angustifolia*, *Pinus* spp, *Mimosa scabrella* e *Cunninghamia lanceolata*. Na etapa de aquisição de imagens com câmera fotográfica e de vídeo foram utilizadas fatias recém-cortadas (verdes) na floresta e

também fatias secas e lixadas. Para melhorar a visualização dos anéis foram aplicadas substâncias como álcool e água sobre as fatias.

A análise visual dos produtos gerados no item (b), já em formato digital, permitiu definir quais técnicas seriam efetivamente adotadas na pesquisa. Descartou-se a utilização de câmera de vídeo VHS em função da baixa resolução apresentada pelas imagens obtidas com esse equipamento. Quanto ao tipo de filme empregado na câmera convencional 35 mm, optou-se pela utilização de filmes reversíveis ou *slides* por serem superiores, em termos de resolução, quando comparados aos filmes negativos preto e branco e colorido.

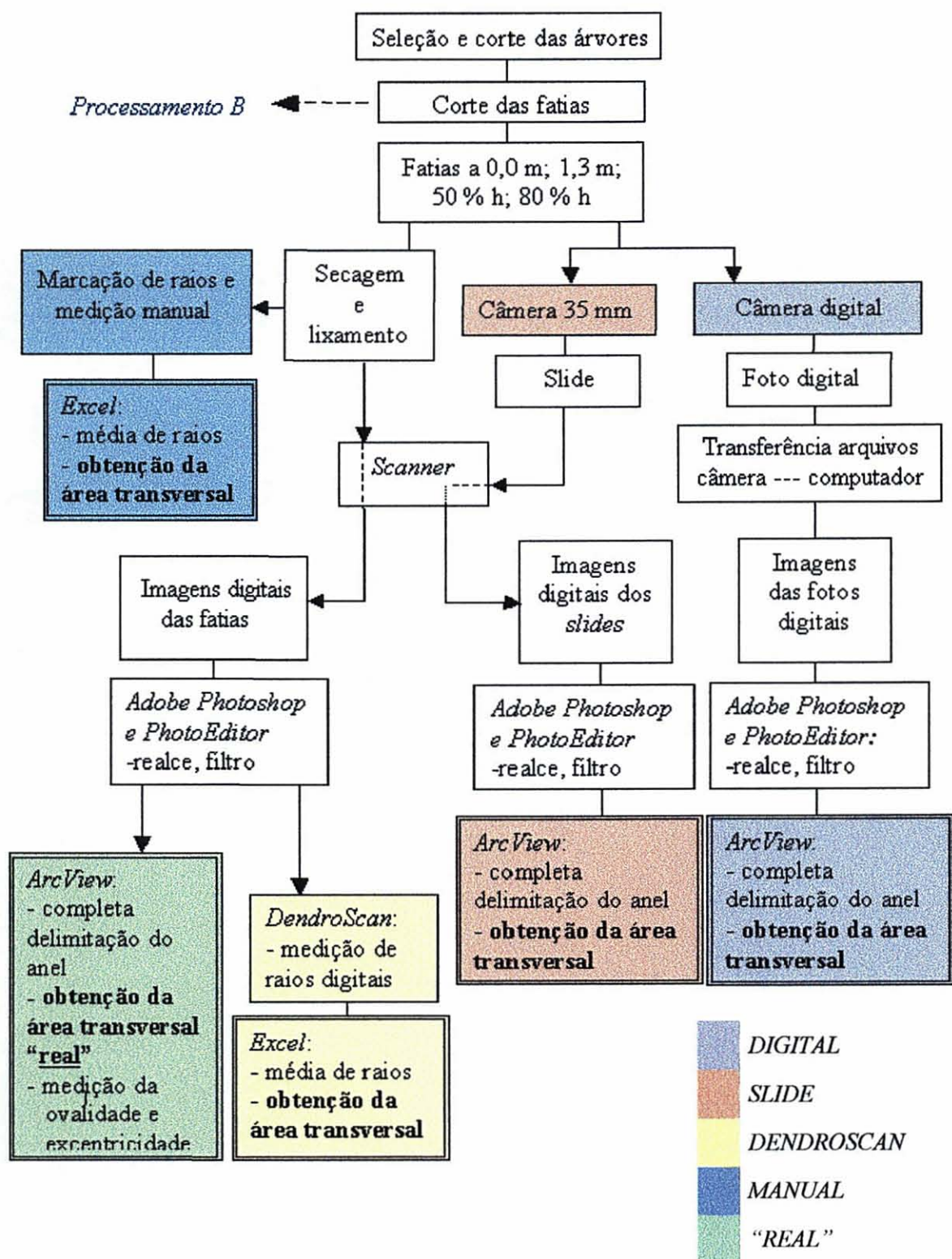
As câmeras digitais disponíveis para a execução do projeto-piloto enquadraram-se em duas categorias quanto à resolução da imagem: abaixo e acima de 1 *Megapixel*. As primeiras não se mostraram adequadas para a identificação dos anéis de crescimento, porém à medida que a resolução oferecida pelo equipamento aumentava, melhores resultados foram obtidos.

Os *software* testados no estudo-piloto (SPRING, DendroScan e ImageTool) foram considerados potencialmente adequados para a execução da etapa de processamento digital das imagens das fatias. No entanto, dificuldades relativas ao cálculo do fator de escala e a necessidade de se estabelecer tantos projetos quanto o número de fatias inviabilizaram o uso do *software* SPRING. O programa ImageTool, por sua vez, apresentou mensagens de erro e término anormal durante o processamento de arquivos com mais de 3 MB de tamanho, razão pela qual não pôde ser efetivamente utilizado.

3.3 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Na Figura 6 é apresentado um fluxograma das principais etapas envolvidas na obtenção de áreas transversais através dos métodos propostos nesta pesquisa. A etapa denominada “Processamento B” não foi detalhada no fluxograma e se refere ao mapeamento das seções transversais em ambiente de geoprocessamento, descrita no item 3.8.

FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO TRABALHO



Uma vez selecionadas as 16 árvores, foram efetuadas marcas horizontais nos fustes a 1,30 m (altura do peito). A circunferência à altura do peito (CAP) foi medida com fita métrica e registrada na folha de dados.

Procedeu-se, então, à derrubada com motosserra e posterior desgalhamento. Com auxílio de uma trena e fazendo-se coincidir a marca de 1,3 m com o traço horizontal no fuste, foi medida a altura total da árvore. Foram tomadas quatro fatias ao longo do fuste, nas posições 0,0 m; 1,3 m; a 50% e a 80% da altura total.

Após o corte, a superfície das fatias foi escovada com álcool com a finalidade de remover resíduos de serragem, sujeira e excesso de resina. Em seguida cada fatia foi colocada sobre a plataforma do tripé (fig. 7), recebendo uma etiqueta auto-adesiva para identificação, colada na porção da casca, onde constavam o número da árvore e da seção. Junto à fatia foi colocada uma escala, fazendo-se coincidir o plano da régua com o plano da superfície da fatia.

FIGURA 7 – PROCEDIMENTOS FOTOGRÁFICOS DURANTE A COLETA DE DADOS



Uma câmera Nikon F-301, acoplada ao tripé, foi empregada para fotografar as fatias. Utilizou-se filme para *slides* Ektachrome, ISO 64, principalmente porque nesses filmes as cores produzidas são consistentes tanto para fotos obtidas em dias de sol como em dias nublados (SCHLESSELMAN, 1997). Além disso, filmes “lentos” – que requerem maior abertura do diafragma, como os de ISO 64 – caracterizam-se por apresentar granulosidade mais fina e, conseqüentemente, maior nitidez.

Empregou-se uma lente objetiva da marca Maginon, serie G, de distância focal regulável entre 28 e 70 mm, o que permite o recurso de *zoom*, ou seja, a ampliação do objeto a ser fotografado. Sobre a objetiva acoplou-se um filtro Skylight 1A, para reduzir os efeitos de bruma e absorver os raios ultravioleta que afetam a nitidez e o contraste do filme. Optou-se pela utilização do programa automático do equipamento fotográfico, uma vez que esse recurso possibilita uma combinação ótima entre o ajuste automático da abertura do diafragma e da velocidade do obturador, reduzindo, assim, a possibilidade de erros por parte do fotógrafo e gerando imagens com exposição ideal.

Cada fatia foi fotografada primeiramente com câmera convencional e, em seguida, com uma câmera digital da marca Sony, modelo DSC-S85, resolução máxima de 2272 colunas por 1704 linhas (aproximadamente 4,1 *Megapixel*), também acoplada ao tripé e equipada com objetiva de lentes Carl Zeiss, de distância focal variando de 34 a 102 mm em escala equivalente à das câmeras convencionais. Foi selecionado o modo *fine*, que permite a obtenção de fotos com resolução máxima, em formato JPEG, que apresenta boa taxa de compressão, conseqüentemente reduzindo o tamanho dos arquivos.

Os procedimentos descritos anteriormente foram repetidos para todas as fatias de todas as árvores derrubadas. Depois de fotografadas as fatias receberam uma identificação com etiqueta plástica afixada na face inferior. O acondicionamento, para posterior transporte ao laboratório, foi efetuado em sacos de estopa por permitirem boa ventilação.

Com o objetivo de simular o procedimento de análise de tronco completa em ambiente de geoprocessamento, a 17^a. árvore selecionada teve fatias coletadas a 0,0 m; 0,3 m; 0,7 m; 1,3 m e de 1 em 1 metro ou entre os verticilos ao longo do fuste.

A direção Norte foi marcada nos discos para, posteriormente, organizar as fatias com a mesma orientação em relação umas às outras. Empregando-se os mesmos procedimentos aplicados anteriormente, foram fotografadas todas as fatias, desta vez apenas com a câmera digital. Em seguida cada fatia foi identificada com o número da árvore e a altura da seção, na face inferior. Os dados complementares, como CAP, altura total e altura das seções foram devidamente registrados em formulário apropriado (Apêndice 1).

A derrubada das árvores, a retirada dos discos e a obtenção das fotografias em campo foi efetuada em duas etapas, nos meses de janeiro e maio de 2002, portanto em pleno período vegetativo.

3.4 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

3.4.1 Preparação das Fatias

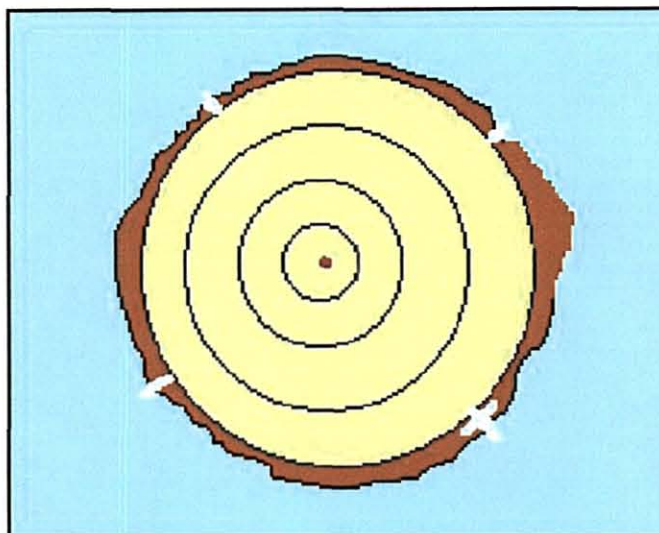
No laboratório todas as fatias foram colocadas para secagem em estufa a aproximadamente 70 °C, em pé, com espaço suficiente entre si para permitir uma boa circulação de ar, até secagem adequada. Em seguida a face de medição foi lixada em máquina, inicialmente com lixas mais grossas (lixa nº 80) e, depois, progressivamente, com lixas mais finas até a lixa nº 200.

Determinou-se, então, o maior raio de cada fatia colocando-se a ponta seca de um compasso sobre a medula. A localização desse raio foi marcada com lápis de cor branca na casca. Prolongando-o em linha reta sobre a medula, marcou-se outro ponto na casca e, em seguida, mais dois, perpendiculares a este (fig. 8).

3.4.2 Preparação do Material Fotografado

Os dois filmes utilizados na câmera convencional para fotografar os dados em campo foram enviados a um laboratório fotográfico para revelação e montagem. Cada *slide*, contendo a imagem de uma fatia, foi identificado com o número da pose correspondente.

FIGURA 8 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA MARCAÇÃO DE RAIOS NA CASCA



3.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

3.5.1 Pré-Processamento

3.5.1.1 Conversão para formato digital

Uma vez que as fotos obtidas com câmera digital já se encontravam em formato digital, apenas as fatias e *slides* foram submetidos a um processo de escanerização, de modo a torná-los aptos para o processamento digital subsequente.

A transferência dos arquivos de imagem da câmera digital para o computador foi efetuada através de cabo e porta USB, segundo o procedimento usual para descarregamento de imagens digitais empregando-se o *software* Adobe Photoshop.

3.5.1.1.1 Fatias

A conversão analógico-digital das fatias secas e lixadas tomadas às quatro alturas no fuste foi efetuada utilizando-se um *scanner* de mesa, modelo Bright, em

modo colorido, a uma resolução de 300 pontos por polegada, gerando pixels equivalentes a 0,00846667 cm. Todas as imagens das fatias originais foram salvas em formato TIFF.

Em função da dificuldade de se compor o mosaico preciso de fatias de dimensões maiores que a plataforma do *scanner*, optou-se pela exclusão de fatias com diâmetros superiores a 21 cm. Entende-se que este procedimento não prejudicou a avaliação dos métodos, uma vez que a escanerização de fatias inteiras no seu tamanho original teve por finalidade apenas a obtenção das áreas transversais “reais” para efeitos de comparação.

3.5.1.1.2 *Slides*

Os *slides* foram convertidos para formato digital através de um *scanner* profissional, marca Polaroid, modelo SPRINT SCAN 45, próprio para escanerização de *slides* e cromos. O fator de ampliação utilizado foi igual a 450% e a resolução variou de 300 a 600 d.p.i., conforme o tamanho da imagem. As imagens TIFF resultantes foram gravadas em CD para posterior leitura e processamento em computador.

3.5.2 Processamento

3.5.2.1 Técnicas de realce de imagem

Todas as imagens digitais foram submetidas a técnicas de realce de contraste e brilho para o aumento da nitidez. Os *software* de processamento de imagens empregados – Adobe Photoshop e Microsoft PhotoEditor – permitiram a manipulação interativa das imagens digitais quanto a características como cor, brilho, contraste e intensidade.

As imagens que possuem baixo contraste concentram a maioria dos seus DN's em uma estreita faixa da escala de cinza (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO,

1999). Assim, a finalidade do aumento de contraste é redistribuir os níveis de cinza (DNs) de modo a expandir sua amplitude dentro do intervalo radiométrico considerado.

A modificação do histograma de frequência de uma imagem implica na utilização de uma função de transferência de contraste, geralmente apresentada como uma curva plotada em relação aos eixos que representam a imagem original e a modificada (CRÓSTA, 1993). Com a utilização do *software* Adobe Photoshop foi possível manipular essa curva, alterando, com isso, a função de transferência e, conseqüentemente, os DN's e respectivas frequências na nova imagem.

O realce de imagens no domínio espacial, efetivado através da aplicação de filtros denominados “passa-alta”, tem por objetivo destacar detalhes finos na imagem (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999). Sendo a nitidez uma característica fundamental para a discriminação dos anéis de crescimento, as imagens das fatias foram submetidas a efeitos de *sharpening* ou “foco”, que consistem na aplicação de “máscaras” quadradas, formadas por coeficientes positivos nas proximidades de seu centro e negativos longe dele (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999), que se deslocam sobre a matriz dos dados originais, multiplicando os valores dos DN's.

3.5.2.2 Obtenção da área transversal “real”

Todas as pesquisas que envolvem a medição de anéis de crescimento para a obtenção da área transversal da seção se deparam com o problema maior de determinar qual a área transversal real para efeito de comparação das metodologias testadas. O planímetro polar foi, com certeza, o instrumento mais utilizado para esse fim (REINECKE, 1926; SIOSTRZONEK, 1958; PRODAN, 1965; BARUSSO, 1977; YANOSKY e ROBINOVE, 1986; WEISE, 1987), assim como o planímetro eletrônico (THIES e HARVEY, 1979; ROSOT et al., 2001a). Neste último é necessário “decalcar” o contorno dos anéis em papel e recortá-los, o que implica em fontes de erro adicionais devido ao decalque, à higroscopia do papel e ao uso da tesoura.

Nesta pesquisa adotou-se a metodologia proposta por TUCKER e CHAKRABORTY (1997) para a medição das áreas transversais reais. O método, denominado “*software planimeter*”, consiste em digitalizar uma linha ao redor do objeto de interesse na imagem mostrada na tela e obter sua área, calculada automaticamente pelo *software* através de fórmulas de álgebra linear, usando as coordenadas dos polígonos. No caso de representação vetorial e considerando as coordenadas X designadas por $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ e as coordenadas Y, por $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$, a fórmula usada pelos *software* de SIG para o cálculo da área de um polígono¹⁰ cujos vértices são $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_n, Y_n)$ é o método dos trapézios, descrito em HUSCH et al.(1982):

$$\text{Área} = \frac{1}{2} \cdot [(X_1 Y_2 + X_2 Y_3 + X_3 Y_4 + \dots + X_n Y_1) - (X_2 Y_1 + X_3 Y_2 + X_4 Y_3 + \dots + X_1 Y_n)]$$

MOREIRA (2001) comenta que este procedimento minimiza muitos erros de omissão e de inclusão de áreas, normalmente observados em outros métodos de cálculos de área como rede de pontos, pesagem ou planimetragem.

Esleveu-se para a medição de áreas o *software* ArcView GIS, versão 3.1, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), que permite a visualização, consulta e análise espacial de dados. Embora direcionado a aplicações geo-ambientais e manipulação de dados com referência geográfica, o programa é aplicável, na verdade, a quaisquer projetos contendo entidades gráficas que possuam localização espacial, mesmo que relativa, como é o caso dos anéis de crescimento na fatia.

O programa permite o uso de dados espaciais (p.e., mapas digitais em formato DXF), dados tabulares (p.e., tabelas de bancos de dados em formato DBF) e imagens (de satélite, de fotografias digitais em formato TIFF ou JPEG). É bastante utilizado nas empresas florestais, principalmente por apresentar *interface* amigável com o usuário,

¹⁰ VINHAS, L. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Comunicação pessoal. 2001.

permitir a importação de dados advindos de plataformas CAD e possibilitar a conexão direta com bancos de dados cadastrais através do módulo *SQL Connect*.

A estrutura de processamento de dados no ArcView é orientada a objetos, sendo que o programa incorpora o conceito de “documentos”, que possuem uma *interface* gráfica própria e são utilizados na execução de tarefas específicas (SENAGRO, 2002). Assim, as “Vistas” permitem a visualização, consulta e análise de dados espaciais e imagens; as “Tabelas” apresentam dados tabulares; os “Gráficos” possibilitam o desenho e visualização de gráficos; os “*Lay-outs*” geram os produtos para impressão e os “*Scripts*” contêm os programas em linguagem *Avenue* (linguagem proprietária do ArcView) para a execução de determinados processamentos.

As “Vistas” contêm os “Temas” que podem ser definidos como “... um conjunto de dados selecionados e preparados para a visualização segundo determinadas regras e simbologia” (SENAGRO, 2002). Os temas – também conhecidos como “*shapes*” devido ao formato “*shapefile*” dos arquivos vetoriais do ArcView – são compostos por feições que representam a ocorrência de determinado objeto no terreno através de primitivas gráficas como ponto, linha, polígonos e textos correspondentes à toponímia. Uma das restrições do programa é que um “Tema” em uma “Vista” só pode conter um tipo de primitiva.

Para a obtenção das áreas transversais “reais” a partir das imagens das fatias secas e lixadas e já submetidas a técnicas de realce de contraste (v. item 3.5.2.1) foi necessário importar para o ArcView os arquivos TIFF correspondentes, criando-se uma nova “Vista” para cada árvore e um “Tema” para cada fatia.

A imagem foi utilizada como fundo para a vetorização dos limites dos anéis de crescimento, representados por entidades do tipo polígono. Dessa forma cada “Tema” (fatia) era composto por tantas feições quanto o número de anéis. Automaticamente era gerada uma tabela de atributos com o tipo de feição e uma coluna para identificação do polígono, que foi preenchida com os respectivos números dos anéis. Como os anéis de crescimento representam uma série de feições circulares concêntricas, conhecidas como “ilhas” na terminologia cartográfica, foi necessário

iniciar a vetorização pelo anel mais externo (próximo à casca), pois do contrário não seria possível visualizar os anéis internos.

O comando “*Returnarea*” (retornar a área) aplicado, na tabela, à coluna que contem o tipo de feição, permitiu calcular automaticamente a área de cada polígono. Considerando que não foi efetuada previamente nenhuma operação de registro e transformação de escala às imagens das fatias e que o programa fornece o cálculo de áreas na unidade “pixels quadrados”, foi necessário aplicar um fator de correção para a obtenção das áreas “reais” em centímetros quadrados. Esse fator, calculado com base no tamanho do pixel gerado durante a escanerização, foi elevado ao quadrado e multiplicado pela área apresentada na tabela, criando-se, assim, uma nova coluna contendo as áreas transversais “reais” para cada anel. Essa tabela, em formato DBF, pôde, então, ser facilmente incorporada à planilha eletrônica *Microsoft Excel* para cálculos posteriores.

3.5.2.3 Obtenção de parâmetros de forma da seção transversal

Com a finalidade de se determinar a excentricidade e a ovalidade de cada anel, para cada fatia dentro da “Vista” foram adicionados cinco novos “Temas”. Quatro deles foram definidos como feições lineares contendo os maiores (R) e os menores (r) raios e os maiores (D) e os menores (d) diâmetros. O quinto foi definido como feição do tipo “ponto”, para representar a localização da medula.

Utilizando a imagem dos anéis vetorizados como fundo, empregou-se primeiramente a ferramenta “*Measure*” (medir) para, visualmente, determinar a localização aproximada dos maiores e menores diâmetros para cada anel. Em seguida foram digitalizadas as feições correspondentes, fazendo-se os segmentos passar pela medula.

A determinação dos maiores e menores raios foi efetuada empregando-se um gráfico auxiliar em forma de círculo, de centro coincidente com a medula. Alterando-se o tamanho do círculo, para cada anel os pontos de tangência mais externo e mais interno representavam, respectivamente, a localização do maior e menor raio. O

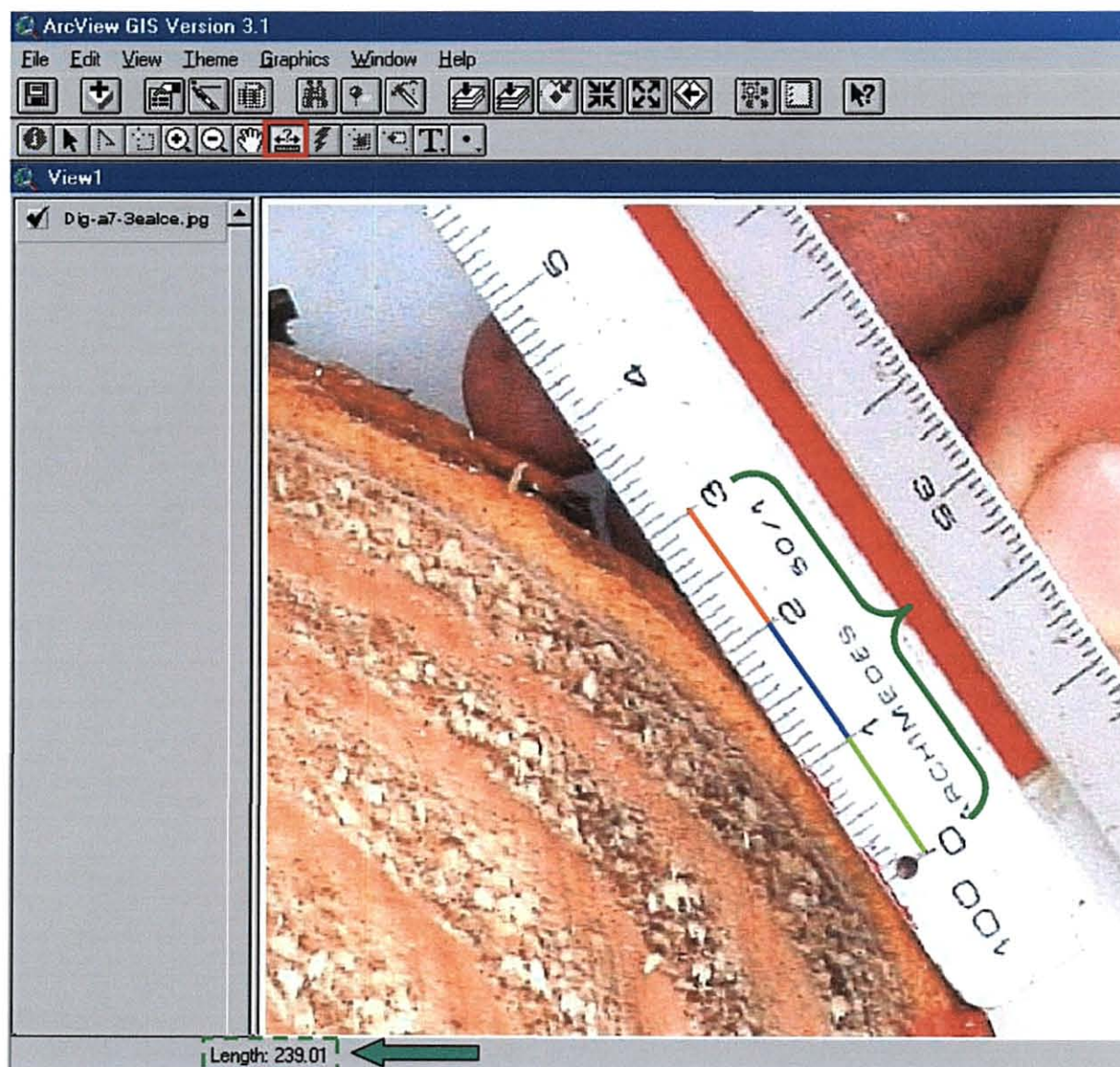
comando “*Returnlength*” (retornar o comprimento), associado ao fator de correção para centímetros calculado anteriormente, foi aplicado a cada feição digitalizada, resultando, assim, nos valores reais para as características consideradas. Ainda no *software* ArcView utilizou-se o comando “*Join*” (unir) para ligar, duas a duas, as tabelas dos raios e dos diâmetros e assim poder calcular a excentricidade e a ovalidade para cada anel. Esses valores foram, posteriormente, importados por planilha eletrônica.

3.5.2.4 Obtenção de áreas transversais através de técnicas fotográficas

Tanto as imagens obtidas por câmera digital quanto as provenientes de escanerização dos *slides* foram processadas utilizando-se os *software* Adobe Photoshop, Microsoft PhotoEditor e ArcView para efetuar operações de realce de contraste, aplicação de filtros e determinação de áreas transversais, respectivamente.

No *software* ArcView os mesmos procedimentos descritos no item 3.5.2.2 foram aplicados tanto para as imagens dos *slides* quanto para as fotos digitais, embora tenham sido criados dois projetos independentes para cada processamento. O fator de escala, no entanto, foi calculado com base na média de três medições de segmentos de 1 cm, efetuadas sobre a régua fotografada junto às fatias (GOELZ e BURK, 1987). Conforme se pode observar na Figura 9, empregou-se a ferramenta “*Measure*” (medir), que lista na barra de *status* os comprimentos total e de cada segmento em unidades relativas. As áreas obtidas através do comando “*Returnarea*” multiplicadas pelo fator de escala elevado ao quadrado forneceram as áreas de cada anel em centímetros quadrados.

As tabelas em formato DBF foram, depois, importadas pelo *software* Microsoft Excel.

FIGURA 9 – OBTENÇÃO DO FATOR DE ESCALA NO *SOFTWARE* ARCVIEW

3.5.2.5 Obtenção de áreas transversais através da medição de raios digitais (DendroScan)

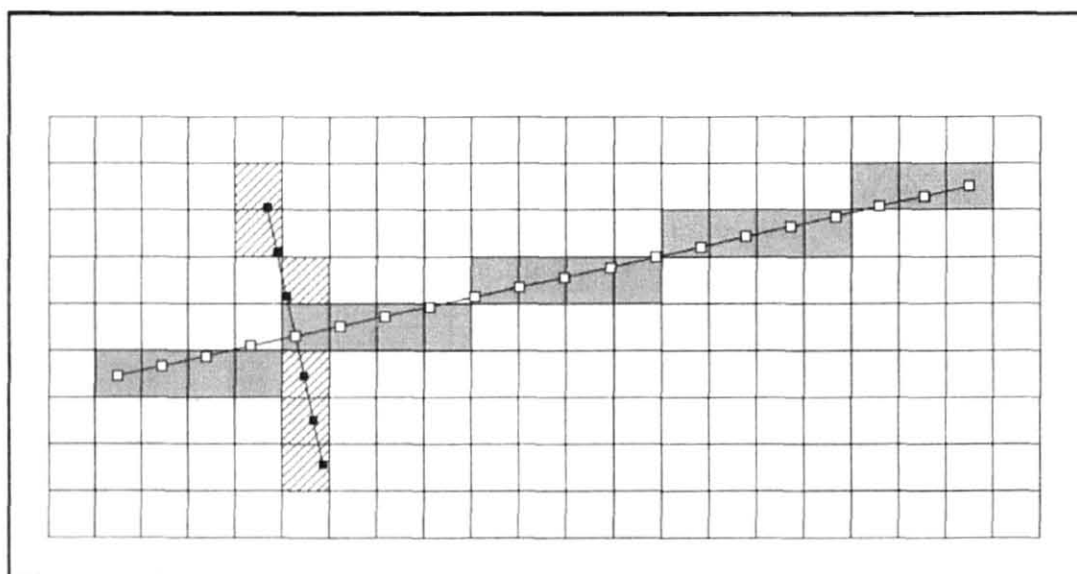
O *software* DendroScan, em ambiente DOS, desenvolvido e comercializado pelo Serviço Florestal Canadense, é um sistema para a medição da largura e densidade de anéis de crescimento. Nesta pesquisa a utilização do programa restringiu-se à medição da largura dos anéis das fatias originais escanerizadas, uma vez que a medição da densidade requer raios-X de amostras das seções transversais.

Basicamente a determinação dos limites dos anéis de crescimento é efetuada ao longo de raios digitais marcados em cor preta sobre a imagem da fatia, que deve ser previamente transformada de modo colorido para escala de cinza. O programa utiliza uma matriz linear, da mesma largura da imagem, para armazenar a localização dos pixels correspondentes aos raios marcados. Um algoritmo faz com que a imagem, visualizada em 12 tons de marrom, além do branco e preto, seja percorrida linha a linha e sempre que um pixel de cor preta for encontrado, será gravado o número da linha na posição da coluna correspondente na matriz linear. Quando é encontrada uma linha sem pixels pretos, o programa processa a trajetória da amostra e redefine a matriz linear. A rotina se repete para a(s) próxima(s) amostra(s) – representada(s) pelos diferentes raios marcados – até que seja atingida a última linha da imagem.

Para que os grupos de pixels sejam traduzidos em curvas suavizadas que definem uma trajetória analítica lógica é necessário determinar uma equação vetorial da linha usando uma inclinação média de 20 pixels (VAREM-SANDERS e CAMPBELL, 1996), conforme exemplificado na Figura 10. O raio digital desenhado pelo usuário é representado pelos quadrados sombreados e o vetor é a linha superimposta a estes. As coordenadas em números reais do vetor subdividido aparecem como pequenos quadrados brancos. A distância angular entre as coordenadas ao longo do vetor é igual ao tamanho do pixel da imagem. Isso assegura que a imagem é amostrada em intervalos regulares, independentemente do ângulo do raio digital, e que a largura desses intervalos não excede a resolução da imagem. Como a imagem diretamente embaixo do vetor-amostra está ocluída pelos pixels que definem o raio digital, o nível de cinza (DN) em cada coordenada é determinado pela média dos DNs de vários pixels de cada lado do vetor principal. Em cada coordenada, sub-amostras de pontos são igualmente espaçadas ao longo de uma linha perpendicular ao vetor principal (na Figura 10, a quinta coordenada). O número de pixels usado para calcular esta média pode ser definido pelo usuário, mas optou-se pela manutenção de 5 pixels, que é o valor-padrão recomendado por VAREM-SANDERS e CAMPBELL (1996) para a medição de anéis de gimnospermas.

Usando o *software* Adobe Photoshop, a imagem foi convertida para escala de cinza empregando-se o comando “*Image - Mode - Grayscale*” (Imagem - modo - escala de cinza). Em seguida o histograma da imagem foi observado com o intuito de verificar a existência de pixels com nível de cinza igual a zero. Em caso positivo foi necessário alterá-los para valores diferentes de zero empregando-se o comando “*Image - Adjust - Curves*” (Imagem - Ajustar - Curvas) que permite o ajuste interativo de uma função de transferência linear de contraste. Esse procedimento foi necessário para que o programa DendroScan definisse as trajetórias apenas sobre os raios digitais (marcados em preto absoluto com nível de cinza igual a zero) e, não, sobre outros segmentos.

FIGURA 10 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA LEITURA DOS NÍVEIS DE CINZA AO LONGO DO RAIOS DIGITAL NO *SOFTWARE* DENDROSCAN



FONTE: Modificado de VAREM-SANDERS e CAMPBELL (1996)

Quatro “blocos” perpendiculares entre si, contendo as regiões onde seriam desenhados os raios foram copiados para “*layers*” individuais com o comando “*Layer - New - Layer via copy*” (Camada - Nova - Camada por cópia). Dessa forma foi possível girá-los e alinhá-los com a porção da casca situada à esquerda da imagem,

que é a forma adequada para a leitura do arquivo no *software* DendroScan. As quatro camadas foram fundidas numa só e, seguindo as orientações do Manual de Utilização do DendroScan (VAREM-SANDERS e CAMPBELL, 1996), foram marcados sobre a imagem quatro raios digitais, começando pelo maior deles, usando uma linha de desenho com largura de 1 (um) pixel, cor preta e contínua (sem a opção *anti aliased*).

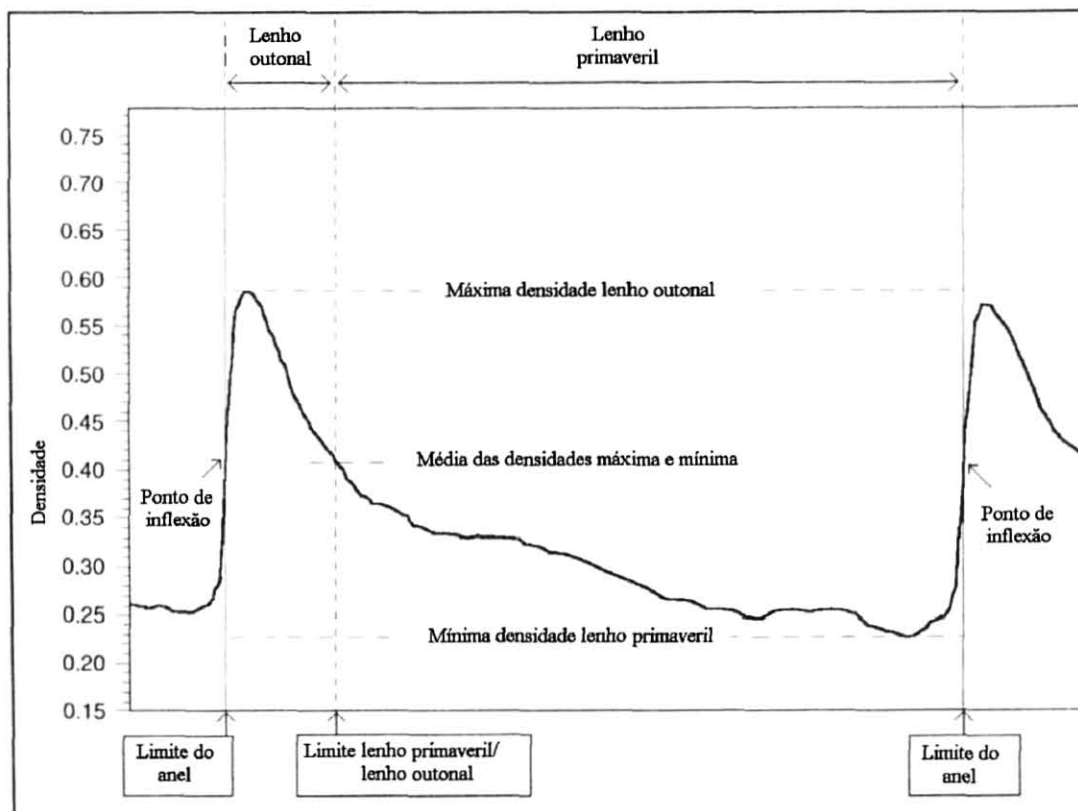
A imagem resultante foi, então, gravada em formato TIFF e importada pelo *software* DendroScan. Após a determinação das trajetórias das amostras (raios), a imagem foi gravada em formato ISC, que é o formato proprietário desse *software*. O programa conta os anéis de crescimento ao longo dos raios usando um algoritmo que reconhece tanto o tamanho como a forma dos sinais dos anéis. Então é gerada uma pseudo-imagem da amostra na tela que serve para orientação do usuário na edição dos limites dos anéis.

O *software* DendroScan determina o limite do anel como sendo o ponto de inflexão entre a densidade máxima (encontrada no lenho outonal de um determinado ano) e a densidade mínima (encontrada no lenho primaveril do ano seguinte), conforme se pode observar na Figura 11. No entanto, em se tratando de análise visual dos níveis de cinza, como é o caso desta pesquisa e, portanto, sem conhecimento das densidades (imagens de raios-X), o algoritmo registra o sinal da imagem como percentagens de cinza. Este valor é um número entre 0,0 (branco) e 100,0 (preto), determinado por um escalonamento inverso linear dos níveis de cinza (DNs) escaneizados, que variam de 0 a 255. Para determinar os limites entre os lenhos primaveril e outonal *dentro* do anel, o programa define a localização do ponto que corresponde à média das densidades (ou níveis de cinza) máxima e mínima dentro do mesmo ano.

Sempre que o algoritmo falhou na detecção ou localização correta dos limites dos anéis ou, se, pelo contrário, foram determinados falsos anéis, empregou-se o menu “*Open ISC file* (abrir arquivo ISC)” para operações tais como *mover*, *acrescentar* ou *remover* anéis. Os resultados (larguras dos anéis) foram gerados em forma de tabelas (em formato TXT) importadas pelo *software* Microsoft Excel e gráficos, exportados em formato EPS (*Encapsulated Post-script*) e utilizados no *software* CorelDraw.

Esses procedimentos foram repetidos para todas as fatias.

FIGURA 11 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DOS ANÉIS NO *SOFTWARE* DENDROSCAN



FONTE: Adaptado de VAREM-SANDERS e CAMPBELL (1996).

3.6 OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS POR MEDIÇÃO MANUAL

Seguindo as marcas efetuadas na casca das fatias secas e lixadas (item 3.4.1) foram marcados quatro raios a lápis sobre elas. Em seguida, foram contados e medidos os anéis de crescimento, posicionando-se uma régua comum sobre cada raio e fazendo-se coincidir o “zero” com a localização da medula. Utilizando formulário apropriado (Apêndice 2), foram registrados os valores obtidos para o comprimento dos raios a partir da medula até o limite de cada anel.

Após a digitação dos dados em planilha eletrônica (Microsoft Excel), calculou-se a média aritmética dos quatro raios para cada idade. Utilizando-se a fórmula da área do círculo (πR^2) calculou-se as áreas transversais por idade. O

procedimento foi repetido para todas as fatias das árvores-amostra.

3.7 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

As diversas etapas do processamento digital de imagens geraram arquivos-texto (TXT) que foram organizados em forma tabular para facilitar a extração de informações.

Os relatórios gerados em formato TXT pelo *software* DendroScan foram importados pelo *software* Microsoft Excel. Como os resultados consistem na largura de quatro anéis por ano-calendário, a área transversal a cada idade foi obtida efetuando-se, *primeiramente*, a soma das larguras dos anéis, partindo-se do mais interno em direção à casca. O procedimento foi repetido para os quatro raios de cada fatia. Em seguida calculou-se a média aritmética dos raios a cada idade, usada, depois, na fórmula da área do círculo (πR^2) para a obtenção da área transversal. As tabelas exportadas pelo *software* ArcView em formato DBF foram importadas e convertidas pelo *software* Microsoft Excel.

As análises envolveram, portanto, cinco séries distintas de dados, mostradas na Tabela 3, cada uma contendo medidas de área transversal de anéis de crescimento. Essas séries foram agrupadas numa planilha única para facilitar cálculos posteriores.

TABELA 3 – SÉRIES DE DADOS DE ÁREA TRANSVERSAL E MÉTODOS/SOFTWARE UTILIZADOS NA SUA OBTENÇÃO

ÁREA TRANSVERSAL	MÉTODO/SOFTWARE
“Real”	ArcView
Estimada através de <i>slides</i>	ArcView
Estimada através de fotos digitais	ArcView
Estimada através de medição de raios digitais	DendroScan
Estimada por medição manual	Régua comum

Os valores dos parâmetros “excentricidade” e “ovalidade” obtidos para cada anel das fatias originais escanizadas foram anexados à planilha principal.

3.8 MAPEAMENTO DAS FATIAS

Conforme descrito no item 3.3 (Procedimentos de campo), de uma das árvores-amostra foram retiradas e fotografadas fatias para a análise de tronco completa. Após as imagens terem sido submetidas a procedimentos de realce de contraste e filtragem espacial, foi utilizado o comando “*rotate*” (Rotacionar) do Adobe Photoshop, girando-se as fatias para que todas apresentassem a mesma orientação (exposição Norte) em relação ao eixo vertical da imagem, marcado na casca com lápis vermelho por ocasião da coleta.

Em seguida todas as imagens JPEG foram importadas pelo *software* ArcView, onde se procedeu à vetorização dos anéis segundo metodologia descrita no item 3.5.2.2. Nesse caso foi criada apenas uma “Vista”, com tantos “Temas” quanto o número de fatias. O fator de escala foi obtido com base nas medições sobre a régua fotografada junto às fatias (v. item 3.5.2.4). Na tabela de atributos de cada tema (fatia) foram inseridos campos adicionais, tais como número do talhão, da árvore e da fatia, data da coleta, CAP, altura total, gênero, espécie, altura da seção e observações. Após o cálculo das áreas transversais empregou-se o comando “*Calculate*” (Calcular), que possibilita operações entre as colunas da tabela, para calcular o raio médio correspondente a cada anel.

Todas as tabelas geradas foram importadas pelo *software* Microsoft Excel, onde foram executados os seguintes cálculos:

- a) altura total a cada idade por semelhança de triângulos usando os raios médios (BARUSSO, 1977);
- b) volume da seção (método Smalian);
- c) volume total por idade.

Considerou-se a metodologia descrita em BARUSSO (1977) apropriada para o cálculo da altura total a cada idade, uma vez que são utilizadas as larguras dos anéis para a construção das proporções, ao contrário dos métodos de CARMEAN (1972) e LENHART (1972) que empregam apenas o número de anéis.

Efetuuou-se, também, a análise de tronco completa por metodologia convencional, ou seja, secando-se e lixando-se as fatias que haviam sido fotografadas e medindo-se, sobre elas, quatro raios para posterior obtenção da área transversal pela fórmula da área do círculo. Os demais cálculos foram semelhantes aos empregados para a metodologia digital.

Os volumes por idade obtidos pelos dois métodos foram comparados por meio de um teste t emparelhado, que é utilizado quando as observações de duas populações de interesse – no caso as estimativas de volume a partir de ANATRO digital e manual – são coletadas em pares (para a mesma idade, para cada método), obtendo-se, assim, amostras denominadas dependentes ou emparelhadas. O teste da hipótese H_0 de que a média da distribuição das diferenças (μ_D) entre um e outro método de medição é igual a zero baseia-se na estatística de teste (WERKEMA, 1996):

$$t_o = \frac{\bar{D}}{s_D / \sqrt{n}}, \text{ em que}$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \text{ é a média da amostra das diferenças;}$$

$$s_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2 \text{ é a variância da amostra das diferenças;}$$

D_i = diferença entre o volume manual e digital, para a idade i ;

n = tamanho da amostra das diferenças.

A hipótese $H_0: \mu_D = 0$ deverá ser rejeitada se:

$$t_o > t_{\alpha/2; n-1} \text{ ou } t_o < -t_{\alpha/2; n-1}$$

3.9 AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE DAS ESTIMATIVAS DE ÁREA TRANSVERSAL

O método utilizado para verificar a acuracidade das áreas estimadas por processamento digital de imagens e, também, por medição manual, foi um teste de hipótese para o modelo de regressão modificado de BIGING e WENSEL (1984):

$$AR_i = b_0 + b_1 \cdot AE_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

em que:

AE_i = área transversal estimada para o i -ésimo anel

AR_i = área transversal “real” do i -ésimo anel

b_0, b_1 = coeficientes da regressão

e_i = erro aleatório

n = número de observações

Assumindo-se que as estimativas de áreas transversais são acuradas, pode-se afirmar que uma reta representando a relação entre as estimativas de áreas e as áreas “reais” possuirá um intercepto (b_0) igual a zero – passando pela origem – e um coeficiente de inclinação (b_1) igual a 1. Para a verificação dessa hipótese foram construídos intervalos de $100(1 - \alpha)\%$ de confiança para coeficientes β_0 e β_1 , obtendo-se, assim, as faixas dos possíveis valores que os parâmetros do modelo poderiam assumir.

O intervalo de confiança para a inclinação (β_1) da reta é dado por (WERKEMA e AGUIAR, 1996):

$$b_1 - t_{\alpha/2, n-2} \cdot \hat{s}_{b1} \leq \beta_1 \leq b_1 + t_{\alpha/2, n-2} \cdot \hat{s}_{b1}, \text{ em que:}$$

$t_{\alpha/2, n-2} = t$ tabelado para um nível de significância $\alpha/2$ e $n-2$ graus de liberdade

b_1 = coeficiente b_1 estimado para a equação

\hat{s}_{b_1} = erro-padrão para o coeficiente b_1

β_1 = parâmetro do modelo

Analogamente, o intervalo de confiança para o intercepto (β_0) é:

$$b_0 - t_{\alpha/2, n-2} \cdot \hat{s}_{b_0} \leq \beta_0 \leq b_0 + t_{\alpha/2, n-2} \cdot \hat{s}_{b_0}, \text{ em que:}$$

$t_{\alpha/2, n-2} = t_{\text{tabelado}}$ para um nível de significância $\alpha/2$ e $n-2$ graus de liberdade

b_0 = coeficiente b_0 estimado para a equação

\hat{s}_{b_0} = erro-padrão para o coeficiente b_0

β_0 = parâmetro do modelo

O ajuste dos modelos e a construção do intervalo de confiança foram efetuados separadamente para os dados de área transversal obtidos em cada método de medição.

Primeiramente foram testadas as hipóteses:

$$H_0: b_0 = 0$$

$$H_1: b_0 \neq 0,$$

a um nível de significância $\alpha = 0,05$, com $n-2$ graus de liberdade.

Em caso de não-rejeição da hipótese H_0 , ou seja, assumindo-se que o coeficiente b_0 poderia assumir valores iguais a zero, ajustou-se um novo modelo, desta vez sem o intercepto, forçando a reta a passar pela origem:

$$AE_i = b_1 \cdot AR_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Testou-se, então, a hipótese de o coeficiente b_1 ser igual a 1, construindo um novo intervalo de confiança para a inclinação da reta, a um nível de significância $\alpha = 0,05$ e $n-1$ graus de liberdade.

3.10 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS

3.10.1 Análise de Agrupamento

A primeira abordagem de comparação entre os diferentes métodos de obtenção de áreas transversais testados consistiu em uma análise de agrupamento ou *clustering*. Embora esta técnica estatística seja comumente usada quando não há hipóteses *a priori* sobre os dados (STATISTICA, 1995), no caso desse estudo o objetivo foi verificar se havia uma tendência de agrupamento natural entre as metodologias aplicadas, incluindo-se aí a obtenção da área “real” pelo método do *software planimeter (scanner)*.

A análise foi efetuada com base no método aglomerativo hierárquico, caracterizado por uma fase inicial de tantos grupos quantos objetos. A partir destes, os objetos semelhantes (conjunto de áreas transversais obtidas em cada método) foram gradativamente agrupados de acordo com suas similaridades, aqui representadas pela distância euclidiana que equivale à distância geométrica no espaço multidimensional (STATISTICA, 1995) e é dada por:

$$\text{Distância (x,y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \text{ em que:}$$

x_i = valor da área transversal medida pelo método que está sendo testado

y_i = média da área transversal do grupo já formado

n = número de anéis

No estágio do primeiro agrupamento, em que cada objeto representa seu próprio *cluster*, as distâncias entre os objetos são definidas pela distância euclidiana. Na segunda fase, no entanto, deseja-se determinar a distância entre dois grupos já formados, de maneira que se torna necessário estabelecer uma regra de ligação que irá definir quando dois *clusters* são suficientemente similares para serem ligados e formarem um novo grupo. Na ligação simples, escolhida como regra de ligação nesta

pesquisa, a distância entre dois *clusters* foi determinada pela distância dos dois objetos mais próximos (vizinhos mais próximos) nos diferentes grupos.

A avaliação da técnica de *clustering* aplicada aos dados foi efetuada com base na análise do “dendrograma” ou “árvore hierárquica”, que consiste em um gráfico onde os nós representam o agrupamento de dois ou mais *clusters* e a localização dos nós representa a distância em que esse agrupamento ocorreu.

3.10.2 Análise de Efeitos Principais e Interações

Além de verificar se as estimativas das áreas transversais obtidas pelos quatro métodos de medição eram acuradas, desejou-se, também, comparar quantitativamente tais estimativas, levando em conta não apenas o método de obtenção da área do anel, mas, também, seus parâmetros de forma (ovalidade, excentricidade) e a sua dimensão (classe de diâmetro).

Efetuiu-se, então, uma análise de variância de fator único para cada efeito principal considerado (método de obtenção da área transversal, classe de diâmetro e classe de forma) e para cada interação possível. Nas interações, os tratamentos consistiram em combinações particulares dos níveis presentes nos fatores, considerados dois a dois (interação dupla) ou para os três juntos (interação tripla). A variável dependente estudada foi a diferença percentual absoluta entre áreas “reais” e estimadas, calculada pela fórmula:

$$\text{dif}_i \% = \left| \frac{\text{área "real " - área estimada}}{\text{área "real "}} \right| \cdot 100$$

em que:

$\text{dif}_i \%$ = diferença percentual absoluta entre as áreas “real” e estimada do *i*-ésimo anel.

Adicionalmente foram calculadas as diferenças percentuais não-absolutas para uma análise gráfica quanto à ocorrência de subestimativas ou superestimativas para cada método aplicado.

No presente experimento todos os anéis foram submetidos a quatro diferentes técnicas de medição para a obtenção da área transversal, porém, cada anel foi alocado em uma determinada classe de excentricidade e de diâmetro. Quando o número de repetições não é o mesmo para todos os tratamentos – no caso, cada combinação particular de fator e nível – o experimento é denominado “não-balanceado” ou “incompleto” (BANZATTO e KRONKA, 1992), o que, em muitos programas estatísticos, constitui um entrave à sua análise como arranjo fatorial.

Considerou-se como delineamento básico para a análise do experimento o delineamento inteiramente casualizado. Quando o teste F da análise de variância acusou diferença significativa entre os tratamentos considerando-se um nível de significância $\alpha = 0,05$, aplicou-se o teste de Spjøtvoll-Stoline (teste T') para comparação de médias, que é uma generalização do teste de Tukey, apropriado para experimentos não-balanceados, ou seja, com número diferente de repetições. O teste T' é baseado na amplitude de distribuição *studentizada* aumentada. Nesse teste a diferença crítica, $\hat{\Psi}(T')$, que deve ser excedida para que a diferença entre as duas médias comparadas seja considerada significativa é dada por (KIRK, 1982):

$$\hat{\Psi}(T') = q'_{\alpha, p, v} \cdot \sqrt{\frac{QM_{\text{erro}}}{n_{\min}}}$$

em que:

$q'_{\alpha, p, v} =$ o valor obtido da distribuição amostral da amplitude *studentizada* aumentada, para um nível α de significância pré-estabelecido, com p tratamentos a serem comparados e v graus de liberdade do resíduo associados ao quadrado médio residual (QM_{erro});

$n_{\min} =$ o mínimo de n_i e n_j (o número de repetições dos tratamentos i e j , respectivamente).

Quando o número de tratamentos é maior que oito (8), o valor de q' pode ser obtido da tabela de distribuição amostral da amplitude *studentizada*.

O objetivo principal do estudo da interação entre fatores foi avaliar se a diferença nas respostas dos níveis de um fator eram similares ou não às obtidas em diferentes níveis de outro(s) fator(es), o que amplia a validade do experimento (LITTLE e HILLS, 1978).

As dimensões e a forma do anel não constituem variáveis de interesse por si sós, porém afetam a variável dependente, que é a diferença percentual entre áreas reais e estimadas e, por isso, representam uma fonte de variação adicional. Segundo KIRK (1982) uma das possibilidades para o controle dessas variáveis, ditas orgânicas, é incluí-las como fatores no delineamento experimental, o que efetivamente ocorreu na presente pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS FOTOGRÁFICAS NA COLETA DE DADOS PARA ANATRO

A diferença entre o procedimento convencional de coleta de dados para análise de tronco e a metodologia adotada nesta pesquisa foi a tomada de fotos das fatias ainda na floresta. A experiência adquirida no estudo-piloto contribuiu para a adoção de algumas medidas de ordem prática, importantes para a obtenção de fotografias e *slides* de boa qualidade. Entre elas pode-se citar:

- a) o uso de motosserra com sabre de tamanho apropriado e corrente nova para evitar a formação de “marcas” sobre a face da fatia a ser fotografada;
- b) a limpeza das fatias com escova e álcool para a remoção do excesso de resina e outros resíduos (especialmente para a espécie considerada – *Pinus elliottii*);
- c) a fixação das máquinas fotográficas em tripé e, se possível, utilização de tripé especial com base, para nivelamento da fatia, semelhante ao que foi empregado nesta pesquisa (fig.7).

4.1.1 Câmera Digital

No caso da câmera digital foi possível verificar a qualidade e resolução de cada fotografia através dos recursos de ampliação oferecidos pela máquina. As raras fotos que apresentaram problemas de foco ou iluminação inadequada foram excluídas e, nesses casos, a fatia em questão pôde ser fotografada novamente.

É aconselhável, também, possuir uma ou mais baterias adicionais, já carregadas, para caso de necessidade durante a coleta de dados em campo. Para o modelo de câmera utilizado nesta pesquisa não houve necessidade de troca de bateria, mas o tempo de duração previsto pelo fabricante é de 150 minutos de operação efetiva da câmera. O mesmo se aplica aos cartões de memória, onde são armazenadas as fotografias digitais. Para o formato (JPEG) e resolução (1704 linhas x 2272 colunas)

adotados, foi possível gravar 32 imagens em um cartão de memória com capacidade de 64 *Megabytes*. Deve-se prever a necessidade de cartões adicionais, disponíveis também com capacidade de 8 ou 16 *Megabytes*. Alternativamente é possível transferir as imagens do cartão de memória para o disco rígido de um computador portátil, do tipo *laptop* sempre que a capacidade de armazenamento tenha se esgotado.

4.1.2 Câmera Convencional

Uma das principais desvantagens operacionais da câmera convencional para a aquisição dos *slides* foi o fato de o equipamento utilizado não possuir a capacidade de foco automático. Na situação de sombreamento relativo, encontrada dentro do povoamento, muitas vezes houve dificuldades para focalizar a fatia, o que prejudicou a nitidez de algumas imagens. Quanto ao tipo de filme utilizado (reversível, ISO 64), verificou-se que a sua comercialização é restrita a alguns estabelecimentos, mesmo em grandes centros urbanos.

4.2 OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS USANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Os resultados descritos a seguir dizem respeito aos aspectos operacionais das técnicas de processamento digital de imagens utilizadas para a obtenção de áreas transversais.

4.2.1 Conversão para Formato Digital

Um dos aspectos a ser levado em consideração quando da conversão analógico-digital é a resolução da imagem resultante e, por conseguinte, o tamanho do arquivo gerado. A partir dos resultados obtidos no estudo-piloto concluiu-se que a resolução de 300 dpi representava um bom compromisso entre qualidade e tamanho. Essas duas características influenciaram diretamente o processamento digital das

imagens para obtenção das áreas transversais. A qualidade das imagens foi um dos fatores determinantes na capacidade de discriminação dos anéis; o tamanho dos arquivos, por sua vez, teve relação direta com a velocidade do processamento de algumas operações.

A Tabela 4 apresenta a amplitude de variação de tamanho de arquivo, que é função da resolução adotada durante o processo de escanerização, do tipo de formato de arquivo e do número de *bits* da imagem (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999).

TABELA 4 – TAMANHO DOS ARQUIVOS DIGITAIS RESULTANTES DE ESCANERIZAÇÃO, CONFORME FORMATO, RESOLUÇÃO E NÚMERO DE *BITS*

ORIGEM DA IMAGEM	FORMATO	RESOLUÇÃO NOMINAL (dpi)	NÚMERO DE <i>BITS</i> POR CANAL RGB	TAMANHO DO ARQUIVO (MB)
Fatia seca e lixada	TIFF	300	8	1 – 20
Slide	TIFF	300 – 600	8	6 – 26

Embora tenha apresentado um valor nominal de 300 dpi, a resolução das fotos digitais em formato JPEG é mais bem descrita em termos de número de linhas por número de colunas, que, com o equipamento utilizado, foram iguais a 2272 x 1704, respectivamente. O tamanho dos arquivos correspondentes variou de 0,6 a 3 MB. Nesse caso, o fator preponderante não foi a resolução, mas, sim, o formato JPEG, reconhecido por suas boas taxas de compressão.

4.2.2 Técnicas de Realce de Imagens

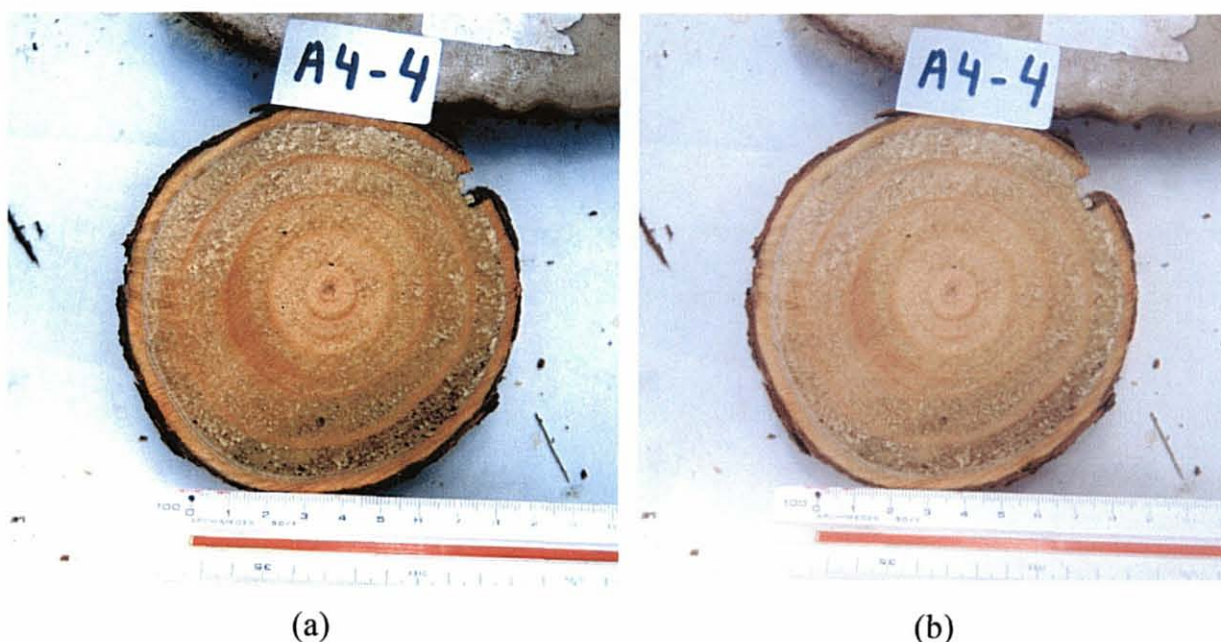
Pequenos ajustes de brilho e contraste foram aplicados com mais frequência às imagens dos *slides* e das fatias originais escanerizadas. Durante a manipulação interativa das curvas do histograma para realce de contraste foi necessário controlar o nível de expansão dos DN's para evitar que a visualização dos números na escala fotografada junto às fatias ficasse prejudicada.

A opção “Foco” do *software* Microsoft PhotoEditor permite regular a intensidade do filtro a ser aplicado, variando de 1 a 10. Os filtros para aumentar a nitidez foram utilizados esporadicamente nas fotos digitais e, principalmente, nas imagens dos *slides*. Para as fotos digitais um filtro de intensidade igual a 3 ou 4 foi suficiente para realçar os limites entre os anéis.

Nas imagens dos *slides*, menos nítidas, foi necessário aplicar filtros de intensidade superior a 6. Mesmo tendo sido submetidos a técnicas de realce de imagem, muitos *slides* escanerizados não puderam ser utilizados na pesquisa devido à falta de foco que impossibilitava a visualização dos anéis.

A Figura 12 ilustra a diferença entre imagens com e sem aplicação de técnicas de realce. A imagem realçada (a) apresenta cores mais vivas e lenho outonal mais contrastado em relação ao primavera. A imagem que não foi submetida a contraste ou filtragem (b) apresenta tonalidades mais apagadas e os anéis parecem desfocados.

FIGURA 12 – IMAGEM DE *SLIDE* ESCANERIZADO, COM REALCE (a) E SEM REALCE (b)

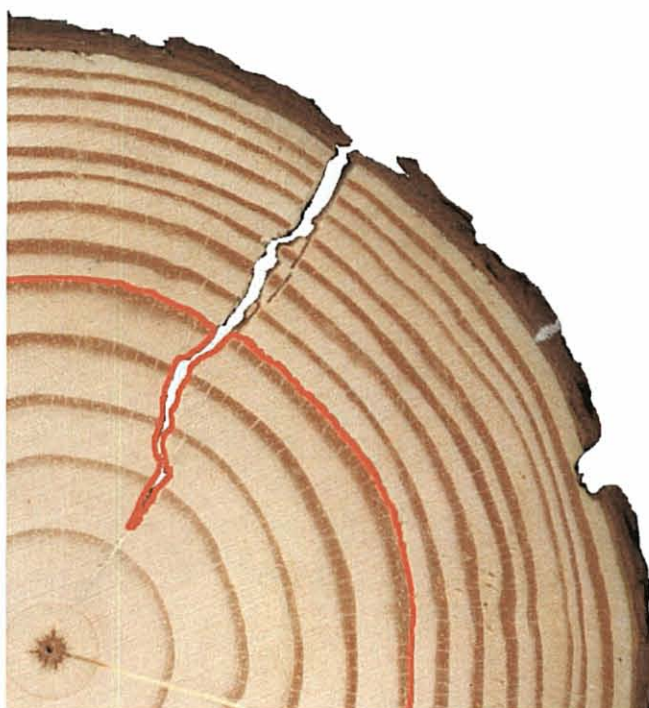


4.2.3 Obtenção de Áreas Transversais “Reais”

De um total de 64 fatias coletadas, apenas 29 puderam ser efetivamente aproveitadas para análise. Das 35 fatias excluídas, 12 apresentaram diâmetros superiores a 21 cm, não sendo, portanto, escanerizadas; as 23 restantes corresponderam, na sua maioria, a *slides* desfocados e a fatias que sofreram rachaduras intensas ou quebra após a secagem.

Em geral as rachaduras não representaram um problema no caso da medição manual e eletrônica de raios, bastando apenas deslocar-se ligeiramente a posição destes, de forma a impedi-los de coincidir com as zonas rachadas. Porém na determinação da área “real” com a completa delimitação do anel, a vetorização sobre os espaços vazios das regiões rachadas causaria uma superestimativa de área. Numa tentativa de minimizar esses erros, optou-se por “contornar” a região da rachadura em direção à medula, ao se traçar os limites dos anéis, conforme se pode observar (em vermelho) na Figura 13.

FIGURA 13 – EXEMPLO DE VETORIZAÇÃO DE ANEL SOBRE A IMAGEM ESCANERIZADA DE UMA FATIA COM RACHADURA



O procedimento de vetorização dos anéis de fatias secas, lixadas e escanerizadas foi efetuado com relativa facilidade no *software* ArcView. Uma das maiores vantagens apresentada pela digitalização em tela foi a possibilidade da aplicação do recurso de ampliação (*zoom*) para a discriminação do limite dos anéis. No entanto, observou-se que, freqüentemente, é necessário estabelecer um compromisso entre um tamanho de pixel grande o suficiente para se definir com precisão o limite entre lenho outonal e primaveril, porém pequeno o suficiente para que se possa acompanhar a trajetória do anel.

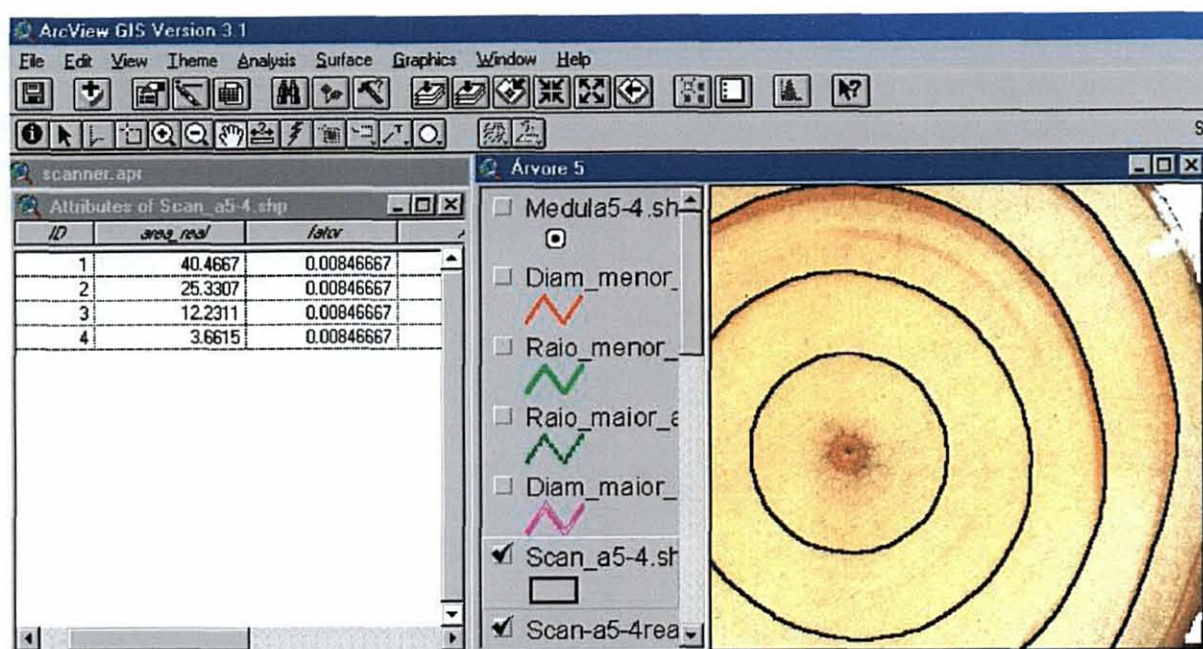
A discriminação dos anéis baseou-se em características tais como cor, textura, forma e tamanho associadas a informações de contexto. Em analogia às práticas comuns do geoprocessamento, o processo de delimitação dos anéis de crescimento assemelhou-se a uma interpretação visual de imagem associada ao procedimento de vetorização propriamente dito. Embora a técnica aplicada possa ser considerada como de fácil aprendizagem, é necessário reconhecer que a experiência do operador é um fator importante para o sucesso do método, contribuindo para isso o gradativo aumento da capacidade do analista em reconhecer padrões.

O comando “*Vertex Edit*” (editar vértices) possibilitou a edição dos polígonos digitalizados. Os pontos adquiridos durante a digitalização puderam ser facilmente excluídos ou movidos para outro local e novos pontos foram acrescentados quando necessário. É relevante observar que todas as operações de edição de feições devem ser efetuadas antes do cálculo de área, pois alterações posteriores não refletem atualizações em áreas já calculadas.

As maiores dificuldades durante o processo de vetorização foram encontradas nos anéis mais próximos à medula, que nem sempre estavam bem definidos. Nessas situações foi necessário recorrer ao exame das fatias originais, especialmente na face não lixada, onde se pode perceber mais claramente o limite do anel.

A Figura 14 mostra uma janela do *software* ArcView contendo a imagem da fatia e os respectivos anéis vetorizados. Na tabela de atributos à esquerda da figura pode-se observar a coluna “área real”, onde são apresentadas as áreas transversais já convertidas para centímetros quadrados.

FIGURA 14 – JANELA DO *SOFTWARE* ARCVIEW COM ANÉIS VETORIZADOS SOBRE FATIAS SECAS, LIXADAS E ESCANERIZADAS E RESPECTIVA TABELA DE ATRIBUTOS



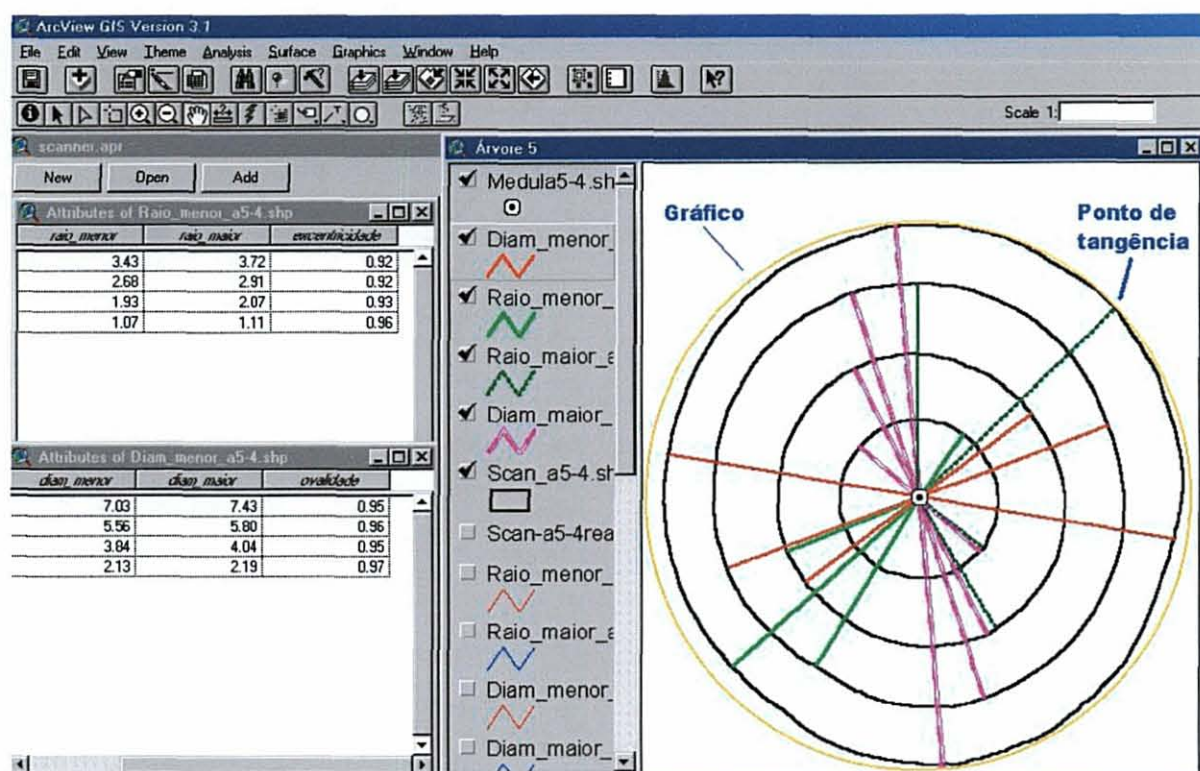
4.2.4 Obtenção de Parâmetros de Forma da Seção Transversal

O tema (*shape*), correspondente a cada fatia, contendo o limite dos anéis serviu de base para a localização dos maiores e menores raios e diâmetros. A vetorização do maior e menor diâmetro de cada anel foi um processo demorado em função da necessidade de se utilizar a ferramenta “*Measure*” (medir) repetidas vezes, num processo de “tentativa e erro”, até que se obtivesse a localização mais aproximada desses parâmetros. Por outro lado, os maiores e menores raios foram localizados rapidamente em função do artifício gráfico do círculo tangente ao anel, que pode ser visualizado em cor laranja na Figura 15.

Nessa mesma figura observam-se, também, as feições lineares correspondentes aos maiores e menores raios e diâmetros dos anéis de crescimento, bem como a feição pontual que representa a medula. As tabelas de atributos, à esquerda, contêm as medidas das características já em centímetros e os parâmetros

“ovalidade” e “excentricidade”. A possibilidade de se efetuar cálculos envolvendo medidas de feições oriundas de diferentes temas (maiores e menores raios, p.e.) deveu-se ao comando “Join” (unir), através do qual as tabelas foram unidas com base em um campo comum (número do anel).

FIGURA 15 – JANELA DO SOFTWARE ARCVIEW COM OS MAIORES E MENORES RAIOS E DIÂMETROS DA FATIA 5 E RESPECTIVAS TABELAS DE ATRIBUTOS



Outro recurso bastante útil foi o comando “Calculate” (calcular), utilizado para executar operações entre as colunas das tabelas ligadas, como, por exemplo, a divisão do campo “raio menor” pelo campo “raio maior”, gerando os valores contidos na coluna “excentricidade”. Ressalta-se novamente que essas operações entre colunas não são dinâmicas, ou seja, alterações nas colunas de origem não representarão atualizações nas colunas resultantes, sendo necessário repetir a operação.

4.2.5 Obtenção de Áreas Transversais usando o *Software* DendroScan

Para a medição de anéis de crescimento através do *software* DendroScan foram utilizadas como base as imagens das fatias secas, lixadas e escanerizadas, convertendo-as, porém, para escala de cinza e submetendo-as ao pré-processamento descrito no item 3.5.2.5. Essas operações foram realizadas empregando-se o *software* Adobe Photoshop.

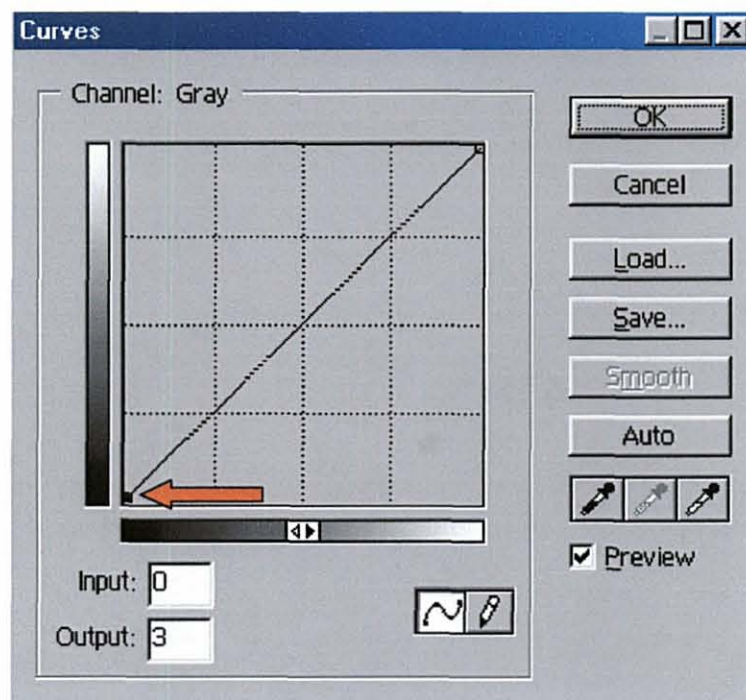
Uma das etapas mais importantes consistiu na modificação do histograma para eliminar pixels de nível de cinza igual a zero (preto absoluto) antes de se desenhar os raios digitais. Na Figura 16 (a) a seta indica o ponto em que a curva do histograma foi alterada e, nas caixas, são apresentados o valor de entrada (“0”) e de saída (“3”) para o pixel. Isso significa que todos os pixels da imagem que possuíam nível de cinza igual a zero, após a modificação da curva passaram a ter um DN igual a três.

A Figura 16 (b) apresenta o histograma de frequência modificado da imagem de uma fatia, onde se pode observar que não há mais pixels com DN igual a zero, ou seja, a frequência desse nível de cinza é zero.

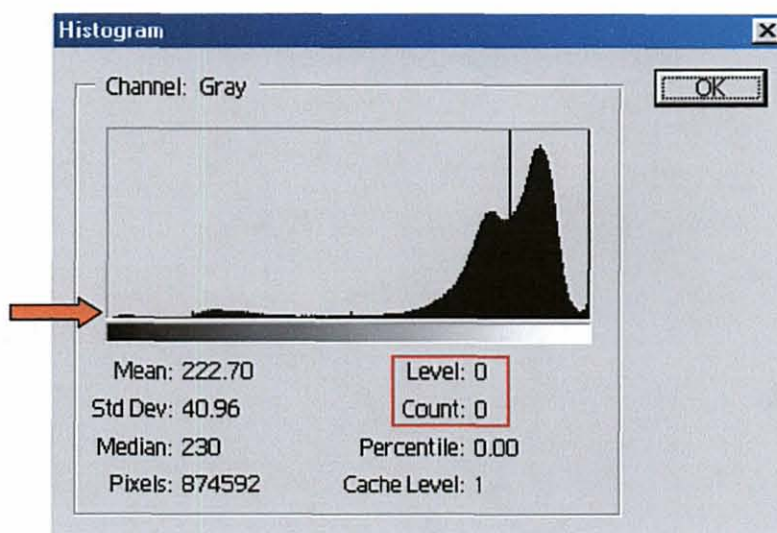
Para o recorte dos “blocos” onde seriam marcados os raios foram utilizadas as marcas brancas efetuadas na casca antes da escanerização das fatias. O aspecto geral do arquivo TIFF a ser importado pelo *software* DendroScan é apresentado na Figura 17 (a). Como os dados foram coletados em janeiro e maio, todas as fatias apresentaram apenas o lenho primaveril no anel do último ano. Para efeito de padronização e para possibilitar as comparações entre metodologias, esse período de crescimento foi descartado das análises, tendo-se considerado apenas o último anel completo, ou seja, aquele que incluiu o lenho outonal. O comprimento dos raios digitais teve de obedecer a esse limite e a precisão do desenho foi alcançada utilizando-se o recurso de *zoom* associado à ferramenta “*Eraser*” (borracha) do *software* Adobe Photoshop, com a opção de fundo branco, o que permitiu apagar a porção do raio excedente ao limite do lenho outonal.

FIGURA 16 – (a) CURVA DE HISTOGRAMA MODIFICADA

(b) HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA SEM PIXELS DE DN IGUAL A ZERO

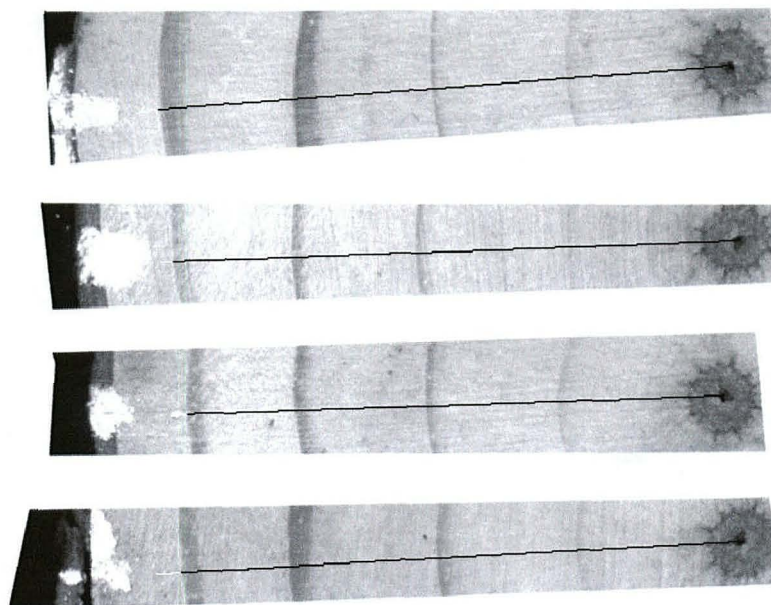


(a)

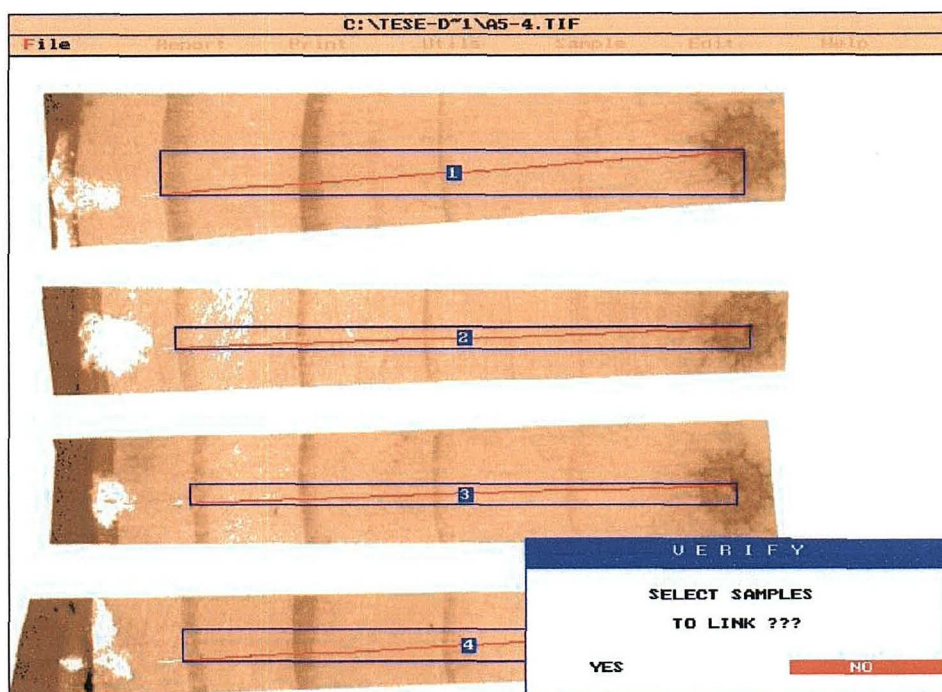


(b)

FIGURA 17 – (a) RAIOS DIGITAIS MARCADOS SOBRE A IMAGEM DE UMA FATIA DE *Pinus elliottii*
(b) JANELA DO *SOFTWARE* DENDROSCAN MOSTRANDO O RECONHECIMENTO DAS TRAJETÓRIAS DOS RAIOS DIGITAIS



(a)

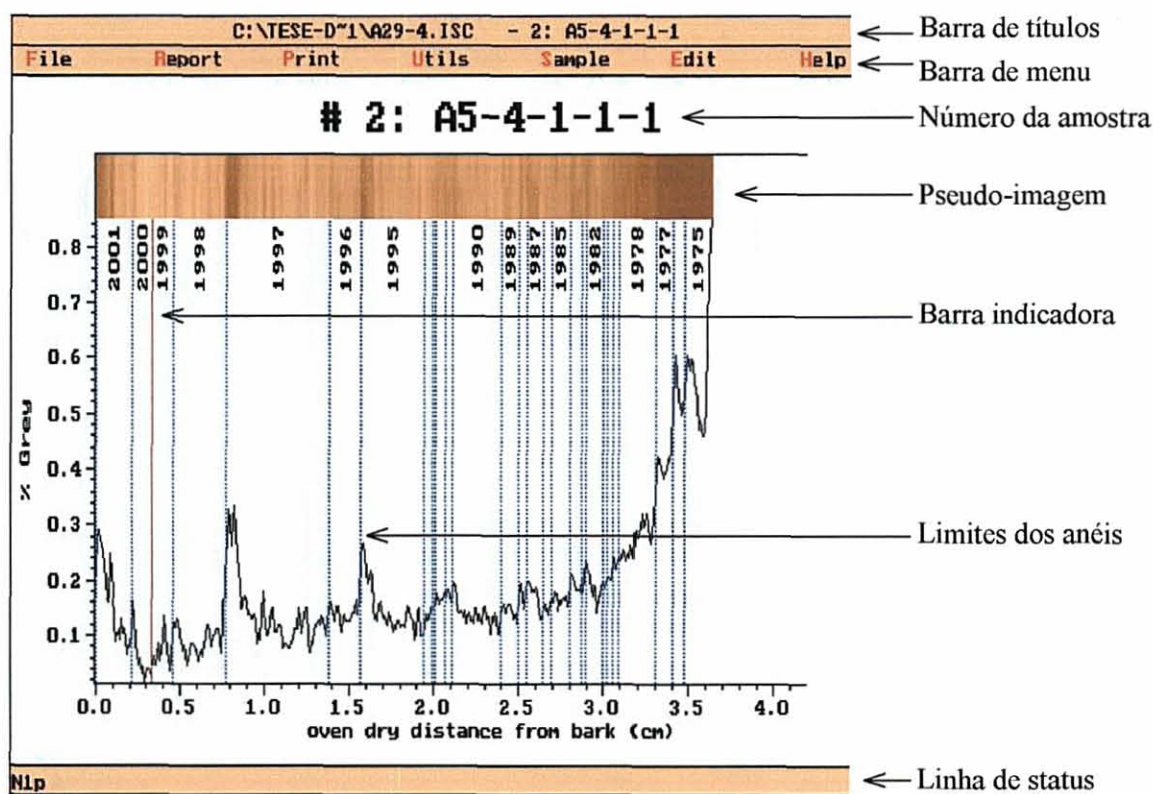


(b)

Após a importação do arquivo TIFF pelo *software* DendroScan, o programa reconheceu e definiu a trajetória de quatro raios digitais, conforme a janela apresentada na Figura 17 (b). A pergunta sobre “*Select samples to link?*” (selecionar amostras para ligar?) se refere à situação especial de quando o mesmo raio foi dividido em duas ou mais partes por ser muito longo e precisa, então, ser “reconectado” para que o programa o reconheça como uma única amostra. Essa condição é mais comum no caso de imagens de raios-X para análise de densidade (VAREM-SANDERS e CAMPBELL, 1996).

Para a maioria das fatias um exame da primeira delimitação dos anéis de crescimento apresentada pelo DendroScan revelou que ocorre uma superestimativa do número de anéis (fig. 18). Isso sugere que o sistema é sensível mesmo a pequenas variações nos níveis de cinza e que o trabalho de edição é indispensável para a correta definição dos limites dos anéis.

FIGURA 18 – TELA DO *SOFTWARE* DENDROSCAN COM A DESCRIÇÃO DE SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS



Um recurso bastante útil oferecido pelo programa à medida que a barra indicadora se desloca ao longo da trajetória do raio é a indicação de “picos”, “vales” e “limites de anéis” na linha de status, representados pelas letras “P”, “V” e “N1”, respectivamente. Durante o processo de edição o *software* DendroScan não permite que um limite de anel seja alocado numa região de “vale”, uma vez que ela indica o ponto de mínima densidade do lenho primavera em um determinado ano.

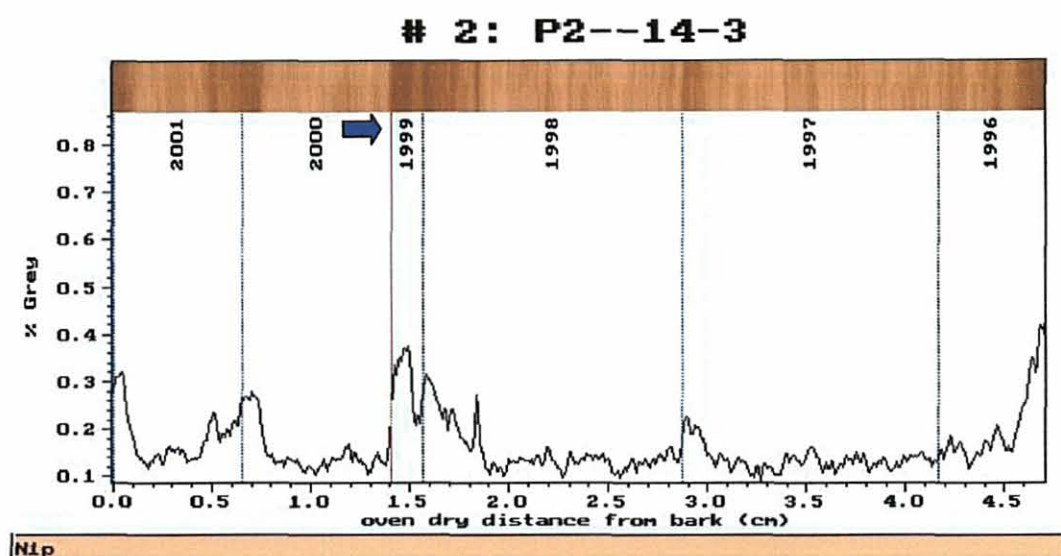
Observou-se que um dos erros mais freqüentes na delimitação dos anéis ocorreu quando havia pequenas manchas ao longo da trajetória dos raios causadas por sombras, canais resiníferos ou outras impurezas na fatia original escanerizada. Para a minimização desses problemas VAREM-SANDERS e CAMPBELL (1996) recomendam que antes da escanerização as fatias originais sejam submetidas a um processo de extração de resinas, sais e gomas em água quente e em solventes orgânicos.

Os autores do programa sugerem que, durante a fase de edição, o usuário tenha em mãos a fatia original ou uma imagem dela. Nesta pesquisa foi utilizada a imagem da fatia inteira, visualizada no *software* Adobe Photoshop em outro computador.

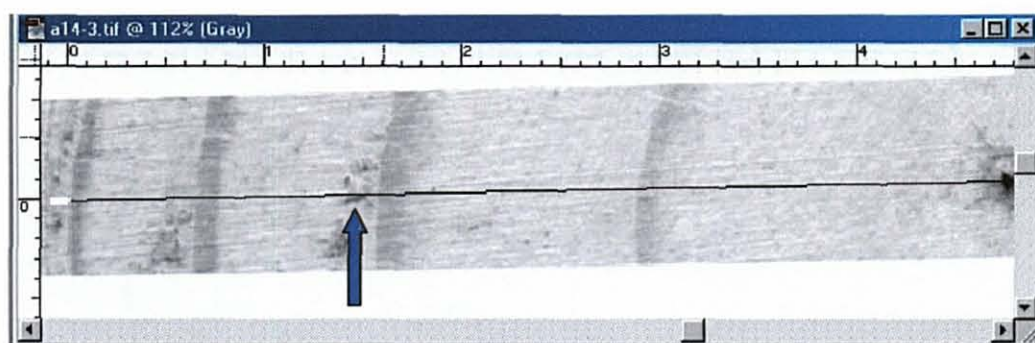
Na Figura 19 pode-se observar como um falso anel foi detectado pelo *software* DendroScan (a) em função de uma mancha existente na imagem original (b). O procedimento de edição foi facilitado pela visualização da imagem original, especialmente porque o *software* Adobe Photoshop permite a utilização de guias de medição que fornecem medidas reais em centímetros, obtidas da leitura da resolução dos arquivos TIFF.

O *software* DendroScan também armazena as informações de resolução da imagem e isso permite que as distâncias sejam fornecidas em centímetros, conforme se pode observar na base da Figura 19 (a). Dessa forma, foi possível localizar com precisão o correto limite dos anéis de crescimento e eliminar ou mover anéis com localização incorreta.

FIGURA 19 – FALSO ANEL DETECTADO PELO *SOFTWARE* DENDROSCAN E A REGIÃO CORRESPONDENTE NA IMAGEM ORIGINAL



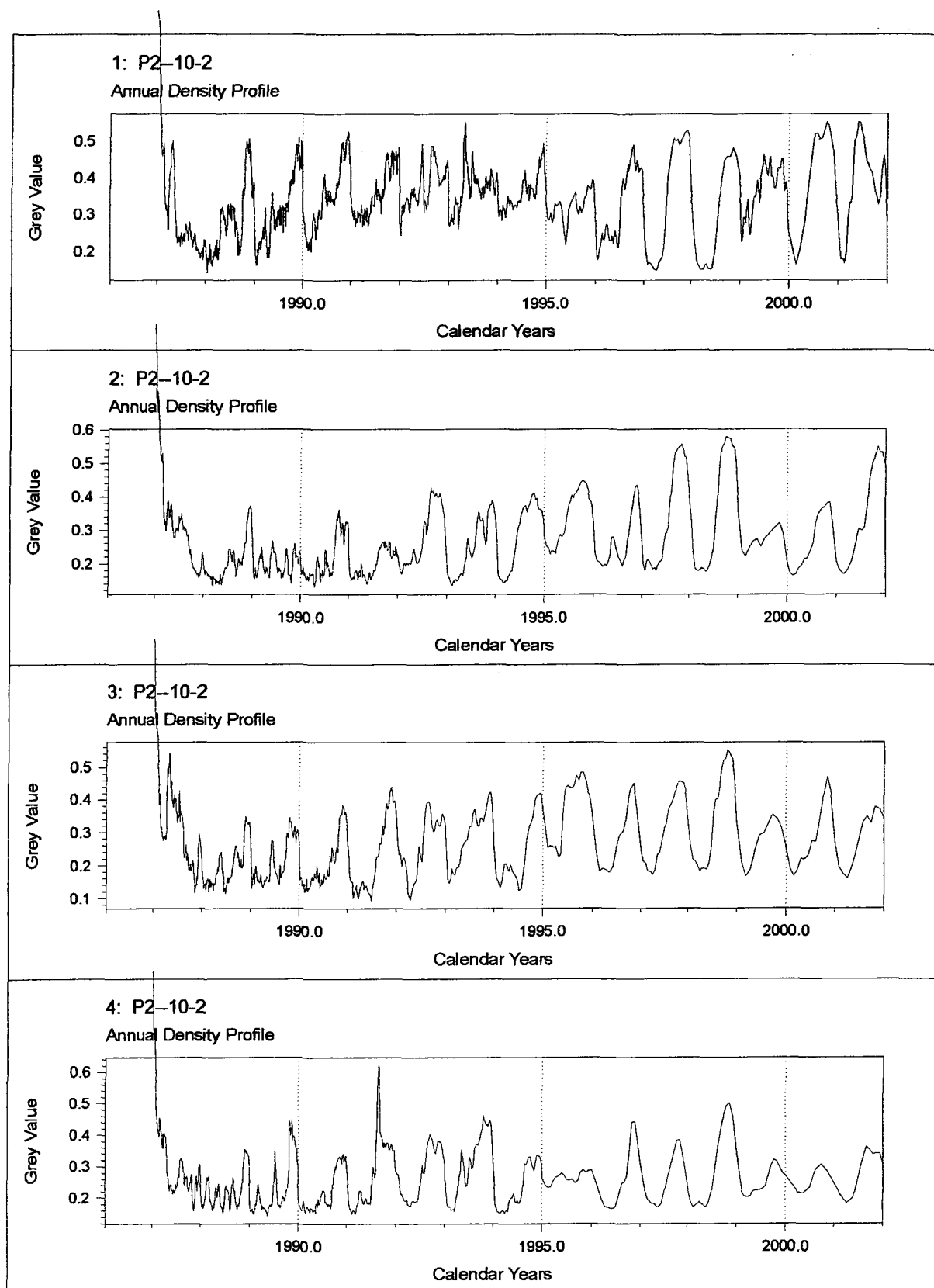
(a)



(b)

Dentre as várias opções de saídas gráficas apresentadas pelo *software* foram selecionados três tipos de gráficos mostrados na sequência. No perfil de densidade anual (fig. 20) o eixo das abscissas representa os anos-calendário e o eixo das ordenadas, a escala de cinza normalizada. As linhas pontilhadas verticais definem os limites dos anéis de crescimento. Pode-se observar que a porção mais esquerda do gráfico apresenta altos valores para o nível de cinza, uma vez que o ano inicial corresponde à região da medula, bastante escura na imagem escanerizada.

FIGURA 20 – GRÁFICO DO *SOFTWARE* DENDROSCAN: PERFIL DE DENSIDADE ANUAL PARA QUATRO RAIOS



Os perfis anuais são úteis quando se deseja efetuar comparações entre as amostras (raios), tomando-se por base detalhes intra-anuais tais como anéis formados pelo efeito de geadas, falsos anéis ou outras anomalias (VAREM-SANDERS e CAMPBELL, 1996). Nos raios mostrados no gráfico verifica-se que, de um modo geral, ocorreram oscilações nas densidades dentro do anel, principalmente para a primeira amostra. O limite dos anéis de crescimento se localiza na curva descendente, – quando se observa o gráfico da esquerda para a direita – no ponto de inflexão entre o maior e o menor valor na escala de cinza. Pode-se afirmar que, quanto maior essa diferença, mais nítido será o limite entre o lenho outonal de um determinado ano e o lenho primaveril do ano seguinte.

Um exemplo do segundo tipo de gráfico escolhido é apresentado na Figura 21. Para cada raio, no eixo das ordenadas encontram-se as larguras dos anéis, em centímetros, e, no eixo das abscissas, os anos-calendário. Também é um gráfico útil para comparações, pois nele se pode observar se as larguras dos anéis apresentam a mesma tendência para os quatro raios, ano a ano. Para o exemplo apresentado, foi o que ocorreu, com pequenas variações nos anos de 1996 e 1999.

O terceiro tipo de gráfico mostra, a cada ano, a largura relativa do lenho outonal em relação à largura do anel. Para a fatia considerada no exemplo (fig. 22) pôde-se observar grandes variações no percentual de lenho outonal para os quatro raios da amostra. BUCKINGHAM¹¹, citado por ZOBEL e BUIJTENEN (1989), comenta que a razão entre lenho primaveril e outonal num determinado ano não é fixa, mas varia de acordo com fatores ambientais, principalmente a precipitação. Uma maior quantidade de chuvas após cessada a produção de lenho primaveril prolonga o período de crescimento radial, aumentando, conseqüentemente, a proporção de lenho outonal (ZOBEL e BUIJTENEN, 1989). Maiores percentagens de lenho outonal no anel significam peso específico maior devido à maior proporção de substância de parede celular (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979), o que representa uma característica tecnológica desejável para a madeira.

¹¹ BUCKINGHAM, F.M. The growth of loblolly pine (*Pinus taeda*) as influenced by soil moisture and other environmental factors. **Dissertation Abstracts**, v. 27, n. 4, p. 1010-1010. 1967.

FIGURA 21 – GRÁFICO DO *SOFTWARE* DENDROSCAN: LARGURA DE ANÉIS (cm) PARA QUATRO RAIOS

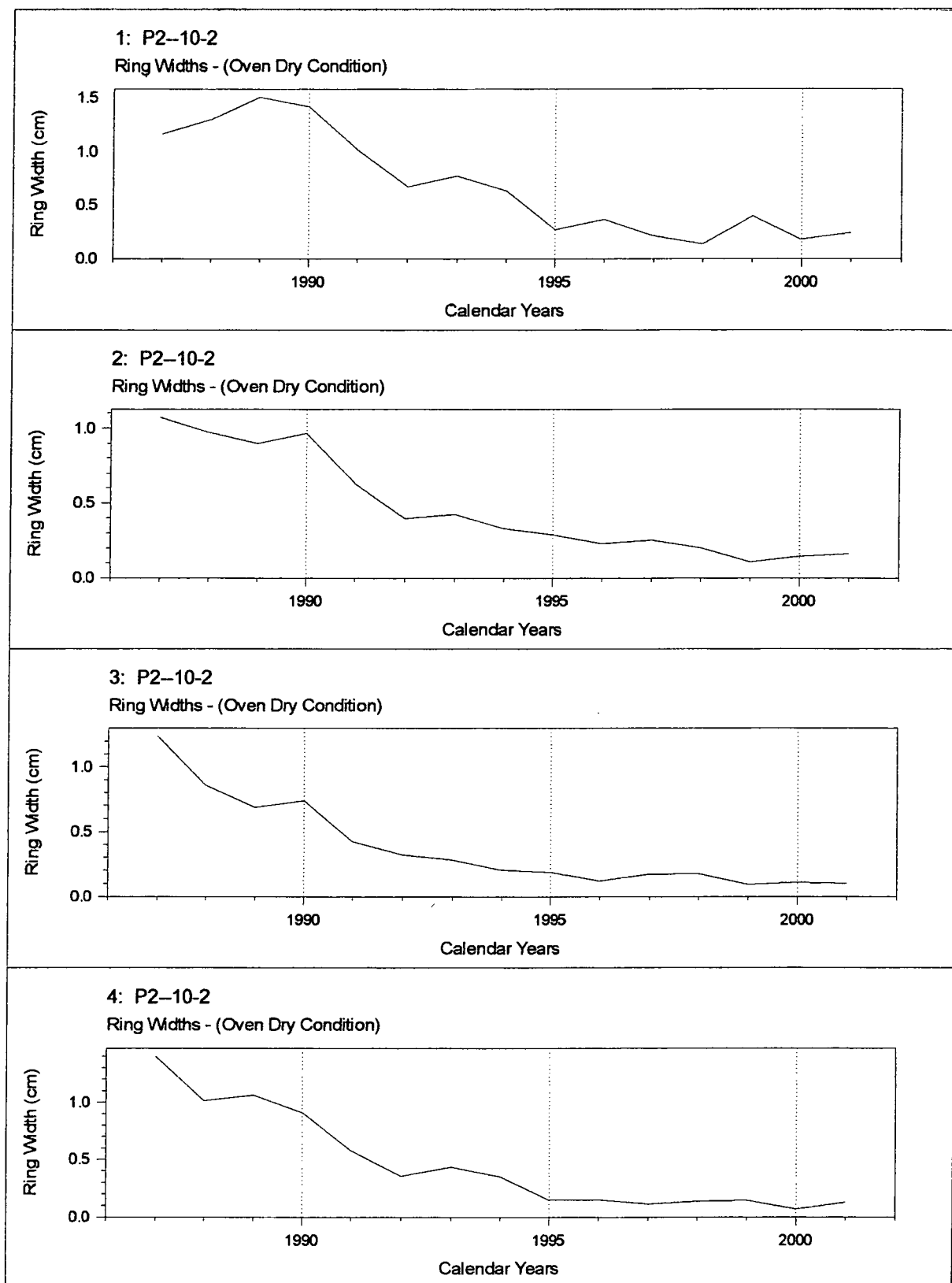
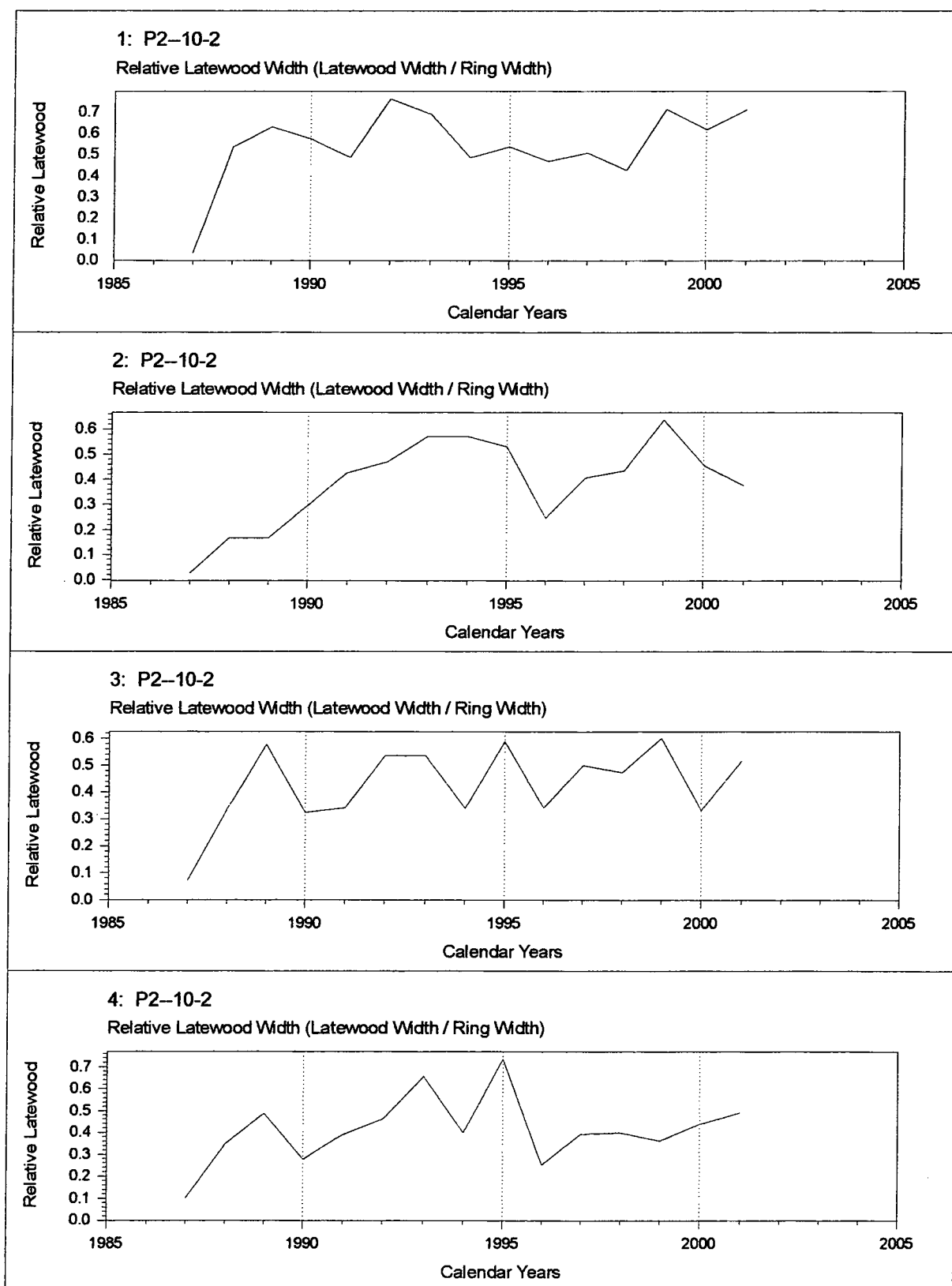


FIGURA 22 – GRÁFICO DO *SOFTWARE* DENDROSCAN: LARGURA RELATIVA DO LENHO OUTONAL PARA QUATRO RAIOS



Os gráficos mostrados e outros disponíveis no programa são especialmente adequados a estudos dendrocronológicos e dendroclimatológicos, em que se deseja observar detalhadamente variações intra e inter-anuais, correlacionando-as com fenômenos meteorológicos do período. Para os objetivos da análise de tronco foram mais úteis os arquivos tabulares fornecidos pelo *software* DendroScan, uma vez que as larguras dos anéis para cada raio, a cada ano, dadas em centímetros, constituíram a base do cálculo das áreas transversais a cada idade, efetuadas em planilha eletrônica.

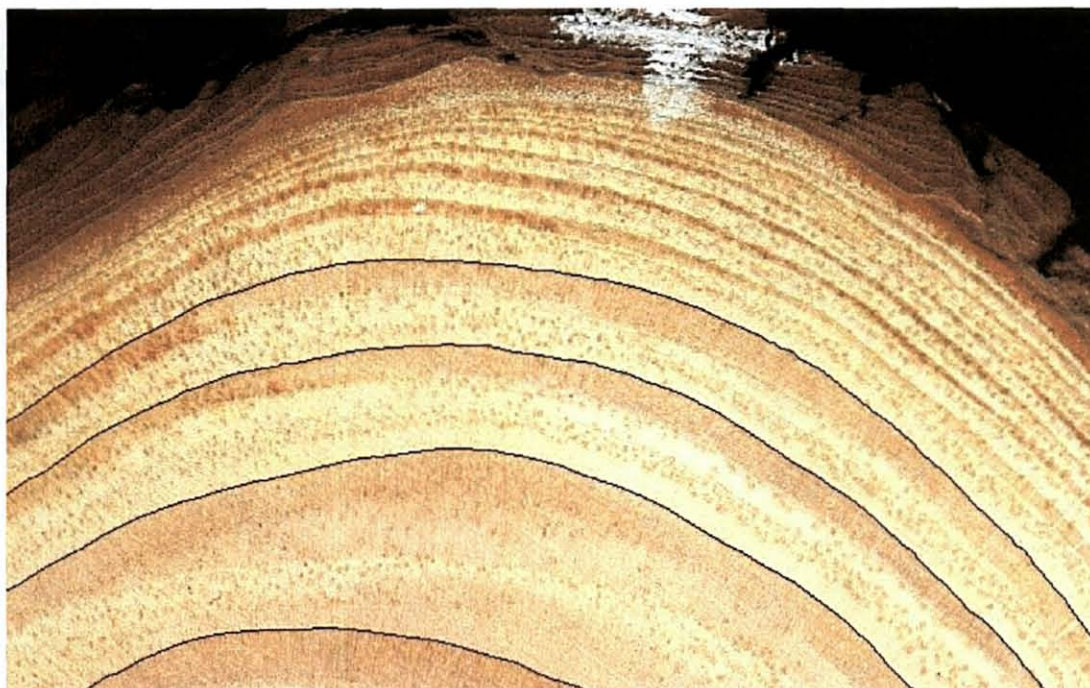
4.2.6 Obtenção de Áreas Transversais usando Imagens de *Slides*

As imagens de *slides* escanerizados foram as que apresentaram os maiores problemas em termos de nitidez, de qualidade de imagem e, por conseguinte, de capacidade de delimitação dos anéis de crescimento, principalmente daqueles próximos à casca para fatias da parte inferior do tronco.

Na Figura 23 é apresentada a porção de uma fatia seca, lixada e escanerizada (a) e a correspondente imagem do *slide* escanerizado da fatia verde (b). Observa-se que na imagem da fatia seca é possível discernir pelo menos mais três anéis, além daqueles vetorizados. Embora tenha sido detectada a presença de mais anéis na imagem do *slide*, não se pôde individualizá-los. Dessa forma, o número de anéis considerados na pesquisa ficou limitado ao número de anéis identificados nas imagens dos *slides*, pois cada anel deveria ser medido pelos quatro métodos para que depois as respectivas áreas transversais pudessem ser comparadas entre si.

Excetuando-se as dificuldades relativas à menor nitidez dos anéis, pode-se afirmar que a vetorização dos anéis no *software* ArcView, tendo ao fundo os *slides* escanerizados, foi semelhante à vetorização efetuada sobre as imagens das fatias secas, lixadas e escanerizadas. Aplicam-se aqui as mesmas considerações descritas no item 4.2.3 com relação ao equilíbrio que deve haver entre o fator de ampliação e a percepção da trajetória do anel.

FIGURA 23 – (a) FATIA SECA, LIXADA E ESCANERIZADA
(b) *SLIDE* ESCANERIZADO DA FATIA VERDE



(a)



(b)

O procedimento adicional de determinação do fator de escala em cada fatia não aumentou significativamente o tempo de processamento para obtenção das áreas transversais. No entanto a restrição ao procedimento é que as três medidas de 1 cm adquiridas sobre a escala com a ferramenta “*Measure*” (medir) podem variar de ocasião para ocasião, de operador para operador e, também, de acordo com a resolução da imagem na tela e com a precisão do *mouse*. Há, ainda, a possibilidade de erros de digitação, uma vez que a medida dos três segmentos é lida na barra de status e deve, então, ser inserida via teclado na tabela de atributos.

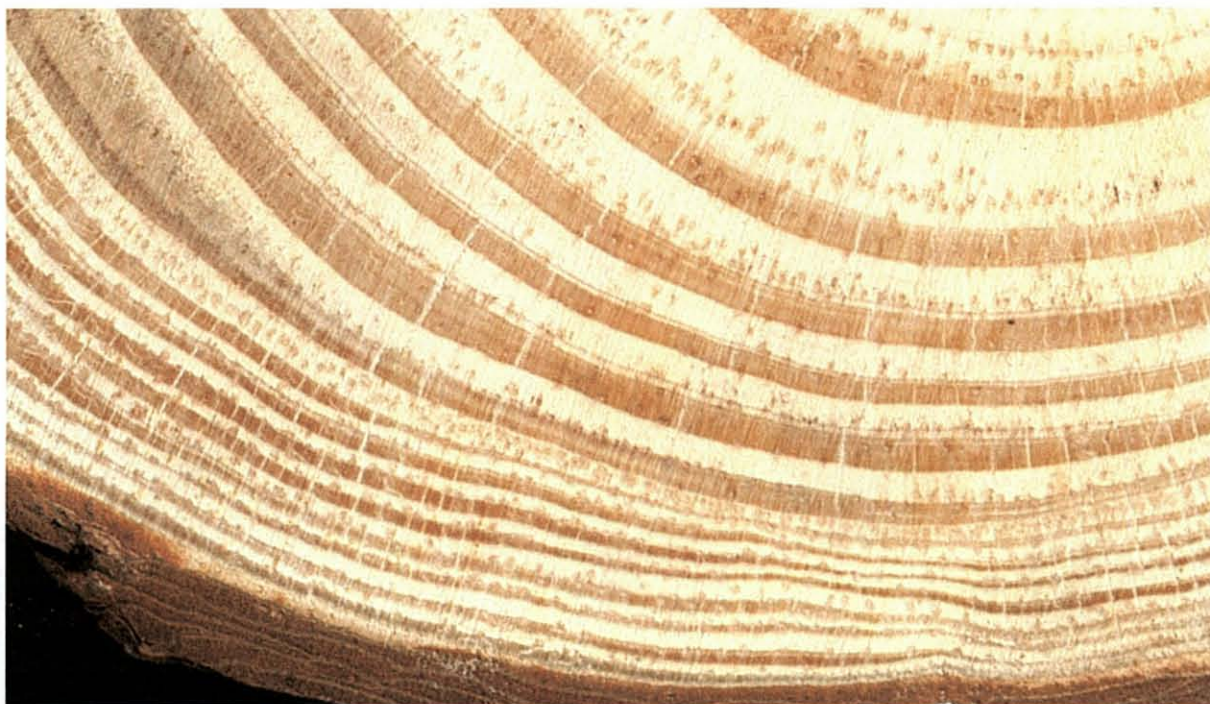
4.2.7 Obtenção de Áreas Transversais usando Fotos Digitais

A transferência dos arquivos da câmera digital para o computador foi efetuada diretamente através de conexão por cabo. Assim, a câmera passou a ser considerada um “disco removível” e as imagens do cartão de memória foram transferidas para o disco rígido do computador simplesmente com o uso do *mouse*.

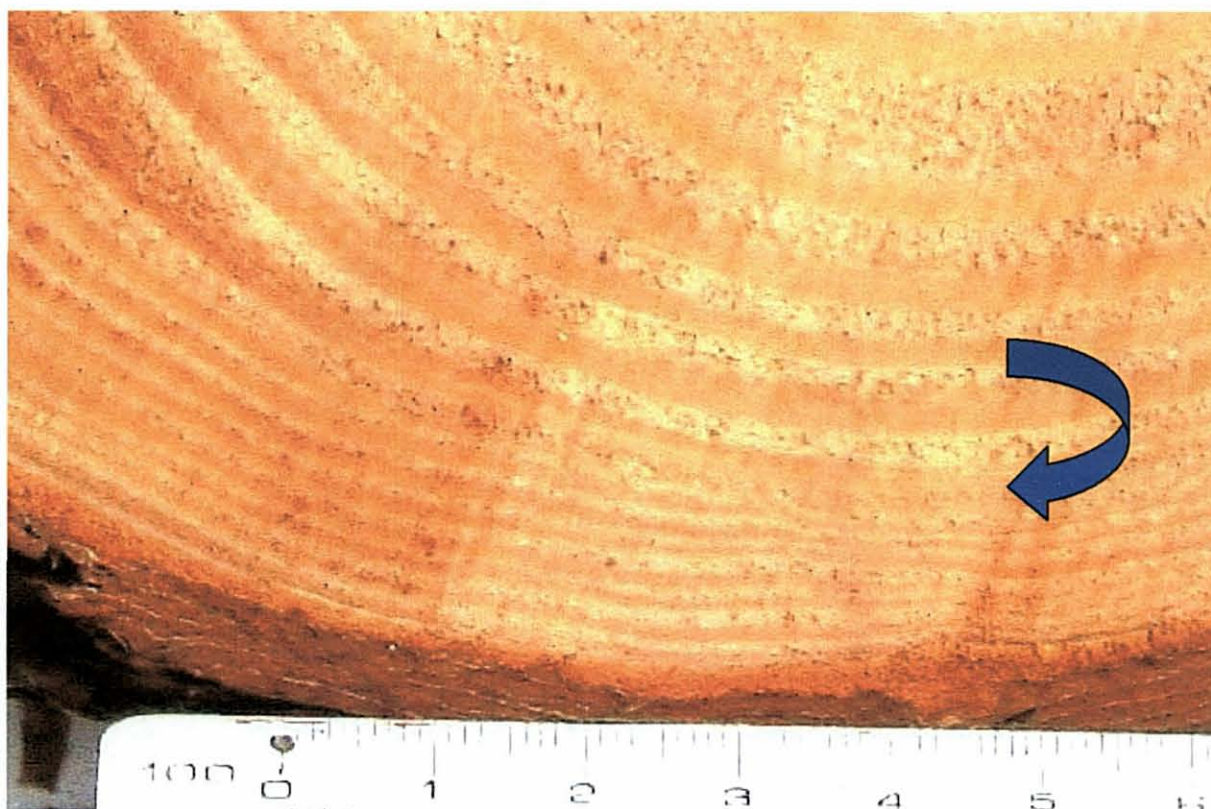
As fotos digitais apresentaram grande riqueza de detalhes, mostrando-se superiores às imagens dos *slides* escanizados em termos de nitidez e do número de anéis que conseguiram ser individualizados. Considerando-se que as imagens foram adquiridas de fatias originais, verdes e sem nenhum tratamento adicional exceto álcool e escova para remoção de resina e resíduos, pode-se afirmar que os resultados superaram as expectativas.

Em geral a delimitação dos anéis no *software* ArcView foi efetuada sem dificuldades, excetuando-se aquelas fatias que apresentaram anéis muito estreitos na região próxima à casca. Na Figura 24 é apresentada a vista parcial de uma fatia seca, lixada e escanizada (a) e a respectiva porção na foto digital (b). A seta indica a região onde a delimitação dos anéis se revelou particularmente difícil, devido ao efeito de “agrupamento” de anéis estreitos.

FIGURA 24 – PORÇÃO DE UMA FATIA ESCANERIZADA (a) E A PORÇÃO CORRESPONDENTE NA FOTO DIGITAL (b)



(a)



(b)

É importante ressaltar que as árvores-amostra utilizadas nesta pesquisa estão representando a situação menos favorável que se pode encontrar quando da coleta de fatias para uma análise de tronco. Isto ocorreu porque a limitação de dimensões máximas para a fatia em torno dos 21 cm restringiu a amostragem às árvores pertencentes às classes de diâmetro médias e inferiores. Assim, mesmo nas amostras que apresentam condição de visualização próxima da ideal – como acontece nas fatias secas, lixadas e escanerizadas (fig. 24a) – a vetorização dos anéis mais estreitos exige maiores cuidados por parte do analista.

Também nas fotos digitais o recurso de ampliação foi fundamental para o correto estabelecimento do limite entre os anéis. Na Figura 25 pode-se constatar o aumento na capacidade de discriminação entre lenho primaveril e outonal quando se empregou a ferramenta “*zoom*” (ampliação).

Para o cálculo do fator de escala foram adotados os mesmos procedimentos empregados no processamento dos *slides* escanerizados e aqui se aplicam, também, os mesmos comentários e restrições já mencionados anteriormente (v. item 4.2.6).

4.3 OBTENÇÃO DE ÁREAS TRANSVERSAIS USANDO MEDIÇÃO MANUAL

A precisão da discriminação e medição dos anéis sobre as fatias secas e lixadas esteve condicionada à acuidade visual humana, que é estimada em torno de 0,5 mm (SPRING, 1998a). Na Figura 26 é mostrado o procedimento usual para a marcação e medição de raios, usando régua comum, lápis e lupa (se necessário).

Ao contrário do que aconteceu com as fatias verdes, os anéis mais difíceis de se visualizar nas fatias secas foram aqueles localizados próximos à medula. Recorreu-se, nesse caso, ao exame da face não-lixada (face inferior) para se identificar e determinar a localização do anel.

FIGURA 25 – FOTO DIGITAL DE UMA FATIA INTEIRA E DETALHE DA AMPLIAÇÃO DOS ANÉIS

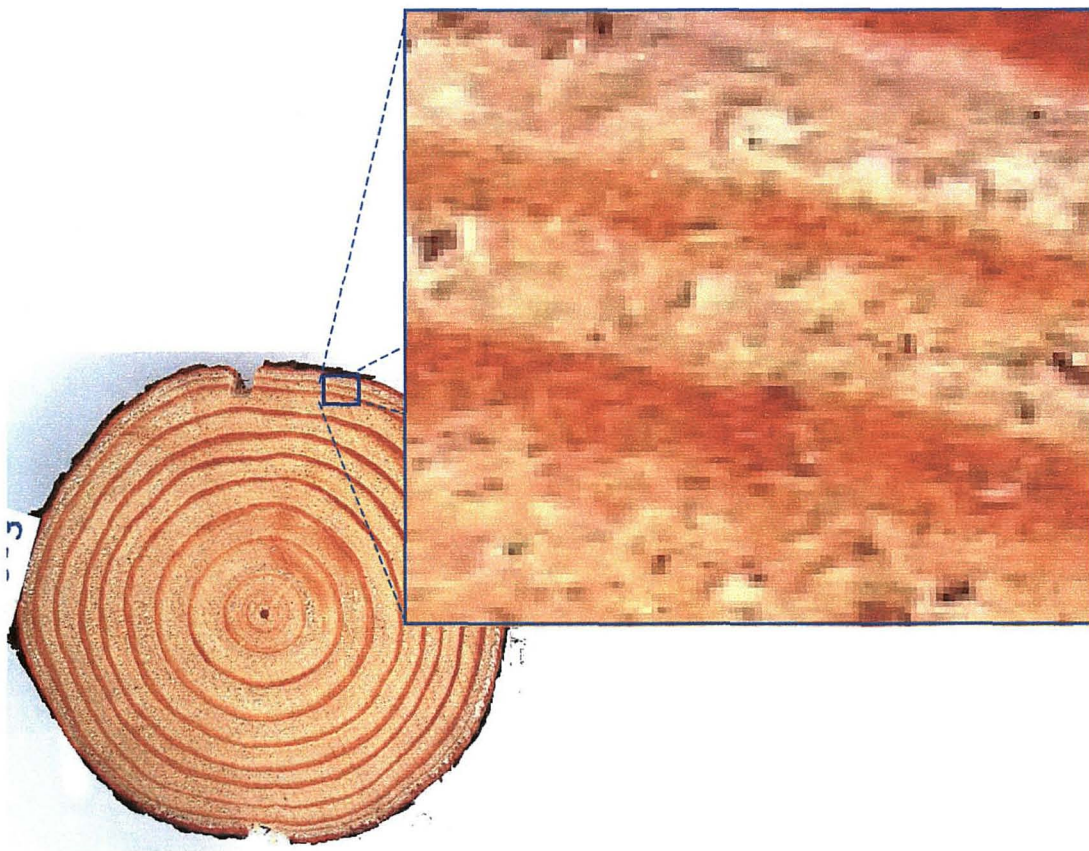
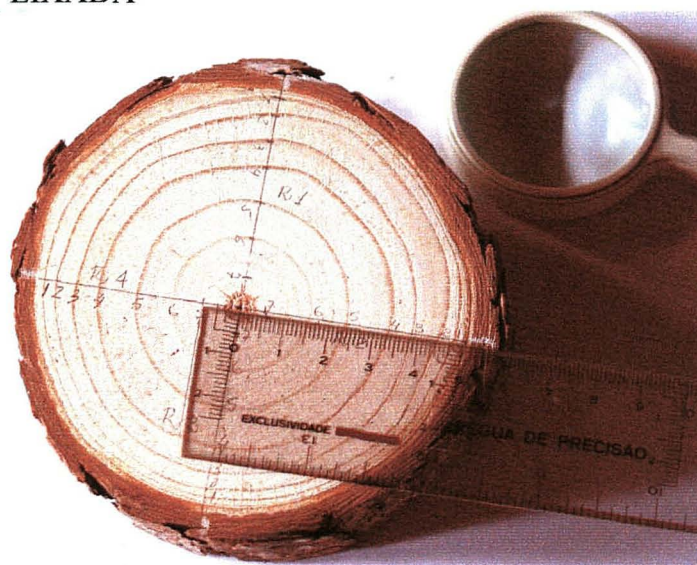


FIGURA 26 – MEDIÇÃO MANUAL DE RAIOS SOBRE A FATIA SECA E LIXADA



Pôde-se constatar que outras possíveis causas de imprecisão na medição manual dizem respeito a erros durante o registro dos comprimentos dos raios observados na régua e, depois, durante a transcrição das medidas para o computador através de digitação.

4.4 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA EM AMBIENTE DE GEOPROCESSAMENTO

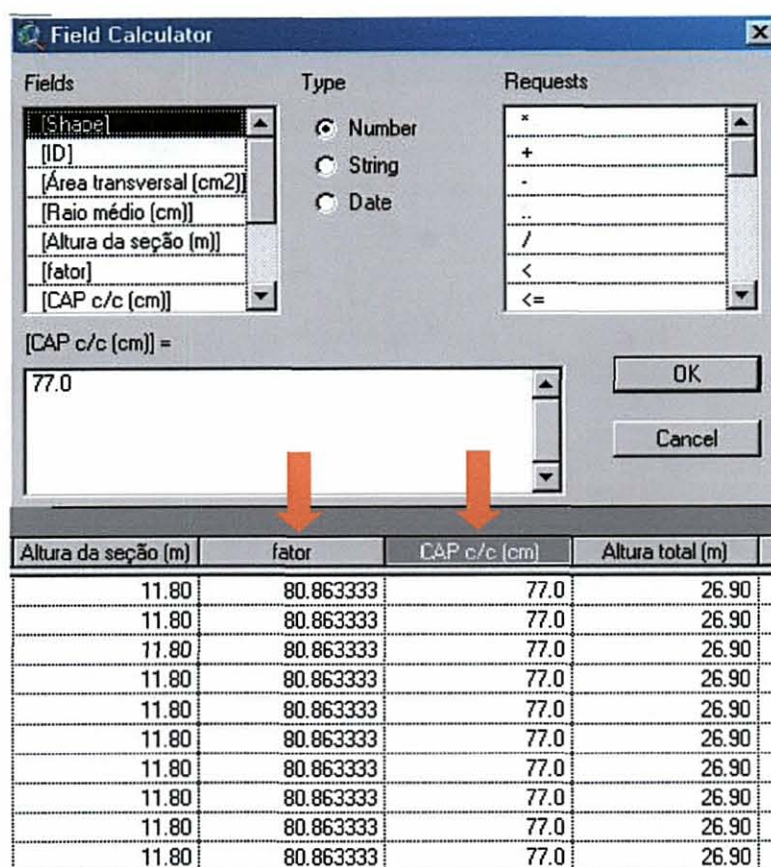
De uma maneira geral pode-se afirmar que a análise de tronco completa em ambiente de geoprocessamento, tendo como dados-base as fotos digitais de 30 fatias de *Pinus elliotti* com 17 anos, não apresentou restrições do ponto de vista operacional.

Os realces de contraste e filtragens aplicados sobre as imagens aumentaram a nitidez e facilitaram a delimitação dos anéis de crescimento especialmente nas fatias das porções inferiores do fuste, onde os anéis eram mais numerosos e mais estreitos.

À “Vista” criada no *software* ArcView para a visualização das imagens foram adicionados os 30 “Temas” correspondentes às 30 fatias coletadas para a análise. Como todas as imagens JPEG foram importadas para a mesma localização espacial não foi possível visualizá-las simultaneamente. No entanto, isso não prejudicou a vetorização dos anéis uma vez que os procedimentos foram efetuados para cada fatia separadamente.

À medida que cada anel era digitalizado, o campo “ID” da tabela de atributos era preenchido com o respectivo número do anel. Os demais campos de cabeçalho (fig. 27), tais como número da árvore, data de coleta, CAP, foram acrescentados à tabela através do comando “*Edit – Add field*” (Editar – adicionar campo) e foram preenchidos usando-se o comando “*Calculate*” (calcular), acessado a partir do menu “*Field*” (campo). O fator de escala médio para cada fatia, obtido através da ferramenta “*Measure*” (medir), também foi inserido na tabela dessa maneira.

FIGURA 27 – JANELA DO *SOFTWARE* ARCVIEW MOSTRANDO O PREENCHIMENTO DA TABELA DE ATRIBUTOS

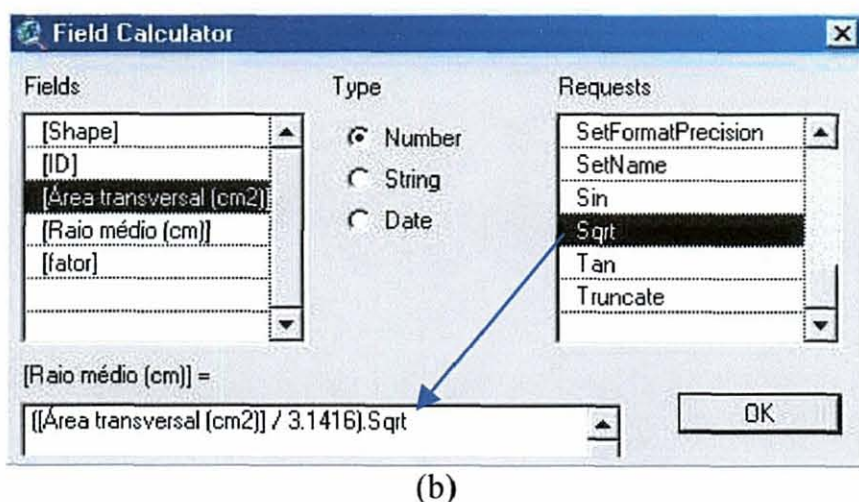
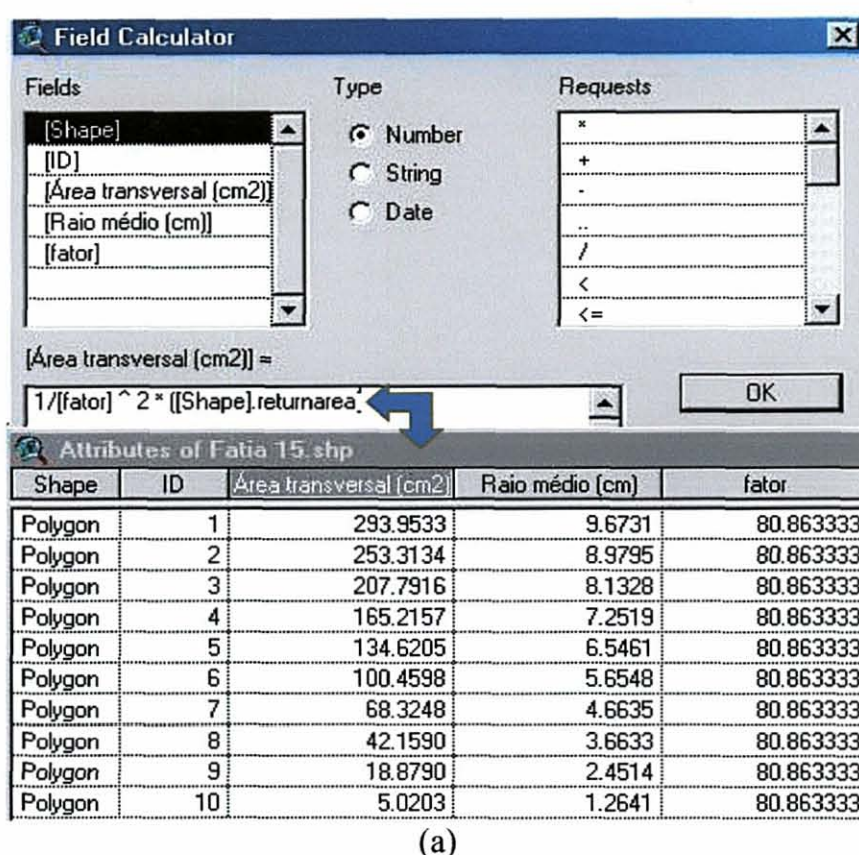


O comando “*Returnarea*” (retornar a área), foi utilizado para gerar um novo campo com os valores de área já convertidos para centímetros quadrados em função da multiplicação pelo fator de escala elevado ao quadrado (fig. 28a).

A construção da expressão mostrada na Figura 28(b) permitiu calcular o raio médio correspondente à área transversal de cada anel. A função “.Sqrt” (raiz quadrada) foi inserida a partir da lista de expressões disponíveis no menu.

Deve-se observar que o cálculo de expressões matemáticas no *software* ArcView não obedece a regras de precedência aritmética e as operações são simplesmente efetuadas na ordem em que aparecem, da esquerda para a direita, exceto se houver colocação de parênteses.

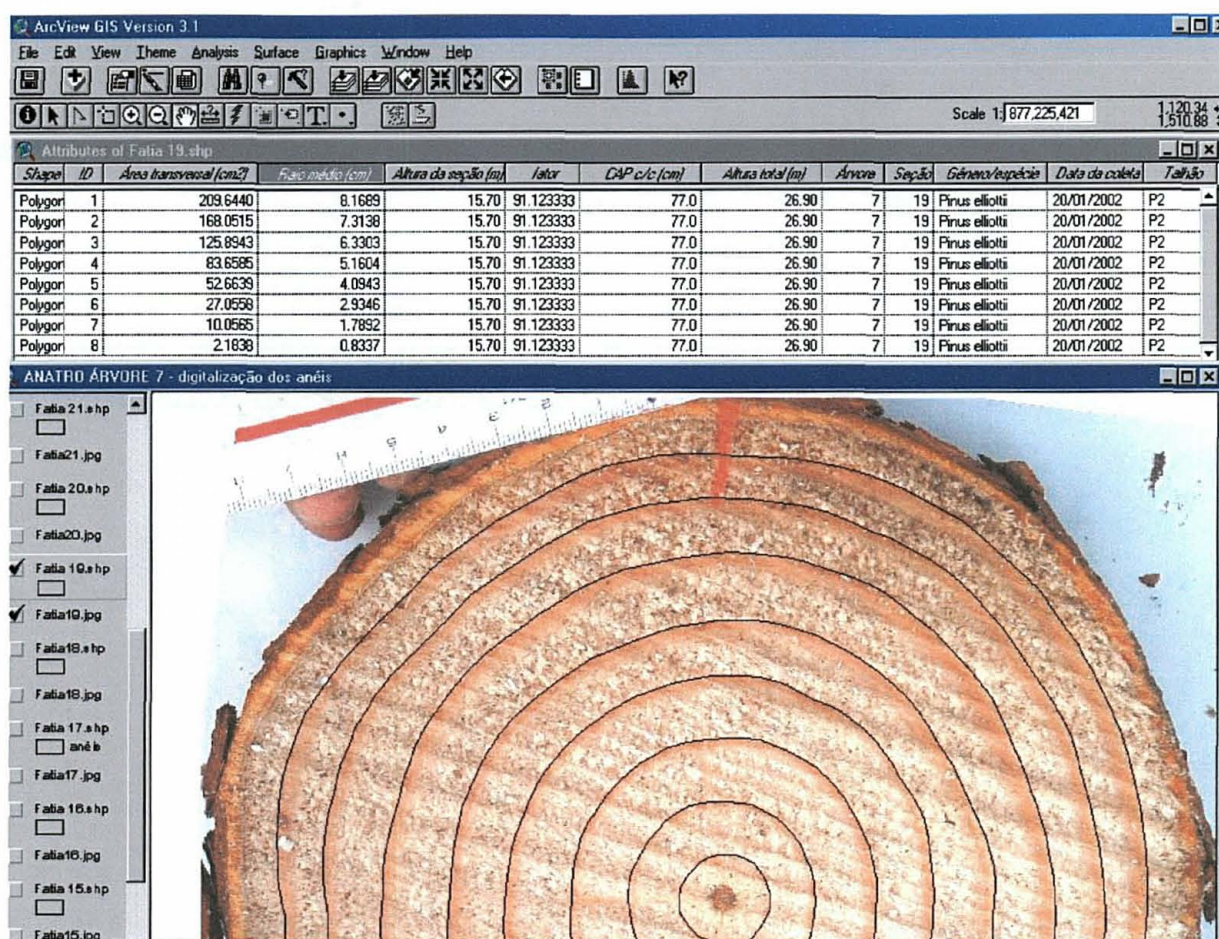
FIGURA 28 – JANELA DO SOFTWARE ARCVIEW MOSTRANDO O CÁLCULO DE ÁREA TRANSVERSAL (a) E RÁIO MÉDIO (b)



Após ter todos os seus campos completados, a tabela de atributos referente a cada tema (fatia) foi importada pelo *software* Microsoft Excel, servindo de base aos cálculos subsequentes da análise de tronco.

Na Figura 29 é apresentada uma vista geral da janela de trabalho no *software* ArcView contendo a imagem JPEG adquirida com câmera digital e, sobrepostos a ela, os anéis de crescimento vetorizados por digitalização via tela. Na parte superior da janela pode-se visualizar uma parte da tabela dos atributos alfa-numéricos correspondentes ao tema (fatia).

FIGURA 29 – JANELA DO SOFTWARE ARCVIEW COM A IMAGEM DA FATIA, “SHAPE” DOS ANÉIS E TABELA DE ATRIBUTOS



A visualização padrão adotada para a ANATRO digital foi a de polígonos vazados, sendo exibido apenas seu contorno, em preto (fig. 29). No entanto, a representação de polígonos “cheios”, preenchidos com cores, pode ser utilizada para realçar aspectos como a forma e a área dos anéis de crescimento. Uma vantagem adicional desse tipo de representação é o destaque colorido dado aos polígonos (anéis) selecionados por consulta ao banco de dados.

Na Figura 30 é apresentada a imagem da fatia coletada a 13,6 m de altura e sobre ela os polígonos correspondentes aos anéis. Nesse caso utilizou-se a opção “*Unique value*” (valor exclusivo) na paleta de símbolos, selecionando-se o campo “código” (número) do anel para a atribuição de cores.

Ao mesmo tempo efetuou-se uma consulta por atributos, desejando-se saber quais os anéis de crescimento que apresentavam área transversal entre 50 cm² e 100 cm². Para isso empregou-se a ferramenta “*Query builder*” (construtor de consultas), que aciona a abertura de uma caixa de diálogo como a que aparece no canto superior direito da Figura 30. No caso deste exemplo foi construída a seguinte expressão:

([Área transversal] >= 50) and ([Área transversal] <= 100)

Os anéis 5 e 6, com áreas transversais iguais a 63,8 cm² e 90,0 cm², respectivamente, corresponderam aos quesitos da consulta, sendo realçados em amarelo tanto na imagem como na tabela de atributos (fig. 30, abaixo, à direita).

Utilizando o comando “*Calculate*” (calcular) também foi possível calcular, para cada fatia, a idade da árvore associada a cada anel usando a seguinte expressão:

[Idade] = 17– [ID] + 1

em que:

17 = idade total da árvore utilizada na ANATRO

[ID] = coluna contendo a identificação dos anéis, numerados em ordem crescente da casca para a medula

Para a fatia 4, tomada a 1,30 m de altura no fuste, o incremento médio anual (IMA) em diâmetro foi facilmente calculado a partir da multiplicação dos dados da coluna “Raio médio” por 2 e posterior divisão pela coluna “Idade”. Os resultados puderam ser visualizados, também, na forma de gráficos (fig. 31), usando-se o menu “*Table – Chart*” (Tabela – gráfico).

FIGURA 30 – TELA DO *SOFTWARE* ARCVIEW MOSTRANDO REPRESENTAÇÃO POR VALOR EXCLUSIVO E EXPRESSÃO DE CONSULTA POR ATRIBUTO

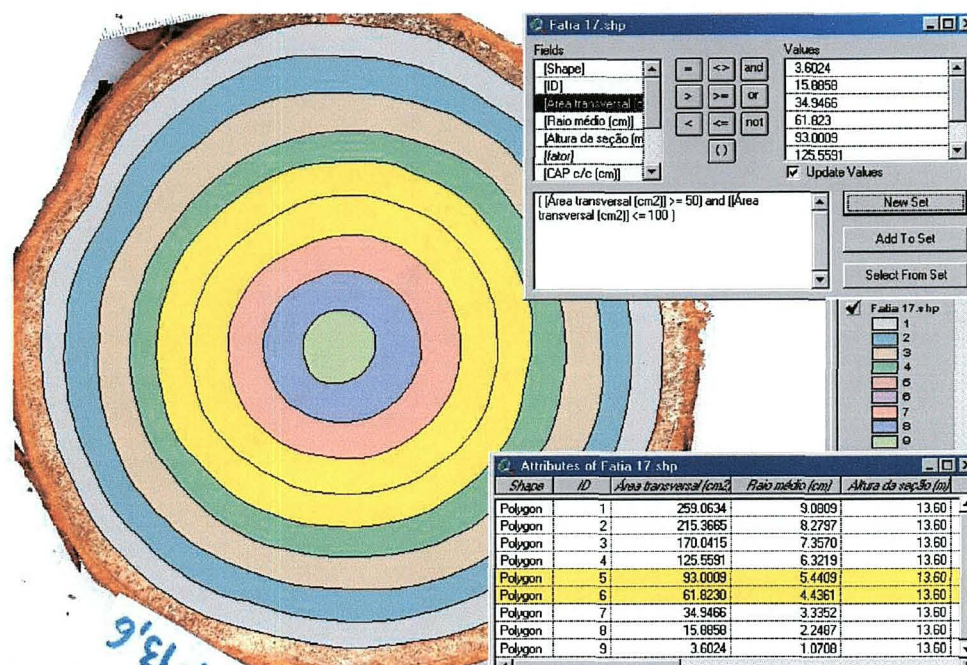
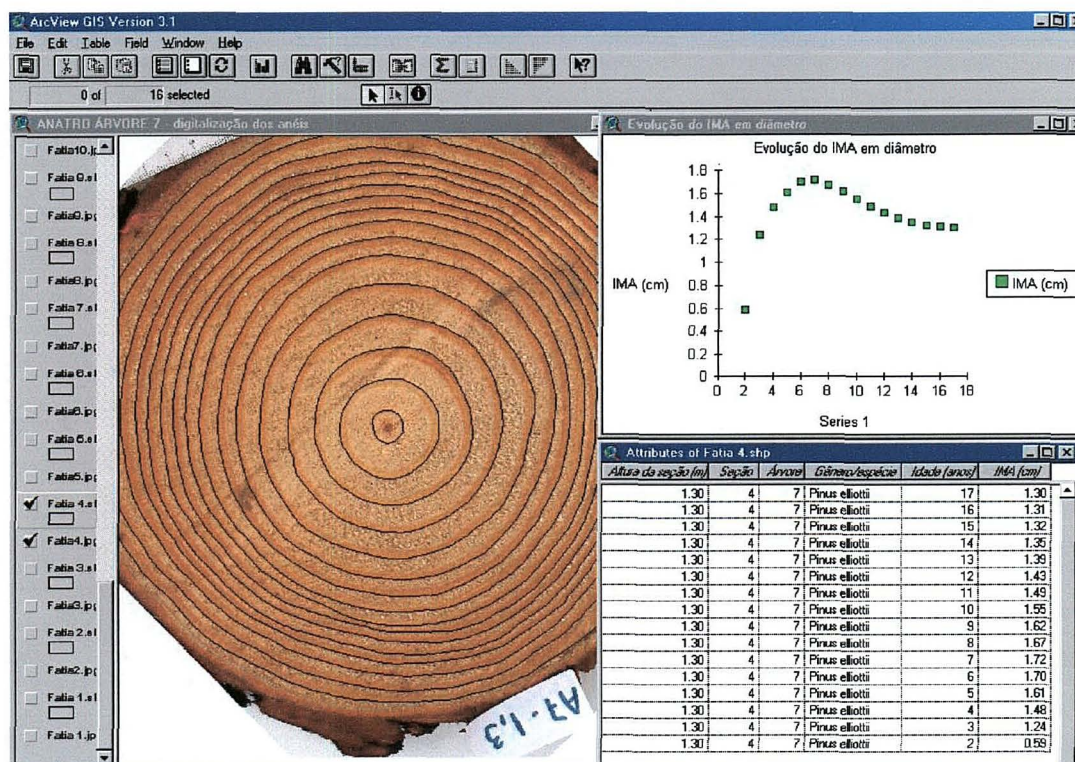


FIGURA 31 – “VISTA” DO *SOFTWARE* ARCVIEW CONTENDO A IMAGEM, TABELA DE ATRIBUTOS E GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DO IMA EM DIÂMETRO



Considerou-se oportuno, nesta fase da pesquisa, desenvolver procedimentos para a medição digital de raios, a exemplo do que ocorre na ANATRO convencional. Para efeito de demonstração, selecionou-se a fatia tomada a 1,30 m de altura no fuste, inserindo-se o arquivo da foto digital numa nova “Vista” do ArcView. Foi criado um tema de feições tipo “ponto” para conter a localização da medula e quatro temas lineares, correspondentes a quatro raios.

Observando-se a marcação existente na casca, relativa à exposição Norte, foram desenhadas uma linha vertical – passando por essa marca – e uma horizontal, perpendicular à primeira, para servir como linhas-guia durante a medição dos raios. Esses procedimentos foram executados empregando-se o modo gráfico, que se encontra ativo quando os temas não estão abertos para edição. As linhas foram agrupadas, constituindo um conjunto gráfico único e fez-se a sua intersecção coincidir exatamente com o ponto representando a medula.

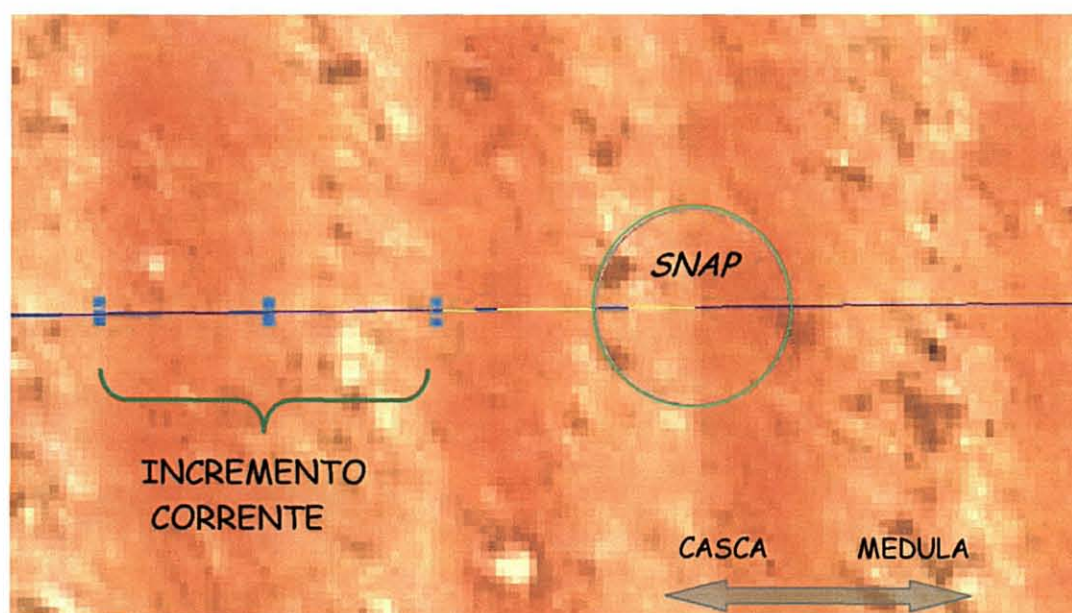
Em seguida, observando o sentido casca-medula, iniciou-se a vetorização de segmentos de linha sobre a guia correspondente ao raio 1. Cada segmento (feição) pertencente ao tema denominado “Raio 1” representava o incremento corrente relativo ao anel considerado. Para evitar deslocamentos entre o último nó de um segmento e o primeiro do segmento seguinte, utilizou-se o recurso de “*snap*”, disponível entre as opções de edição do tema e que é muito comum nos *software* de edição vetorial por permitir o perfeito ajuste entre nós durante a digitalização de feições.

Na Figura 32 as três marcas retangulares azuis indicam o local onde foi digitalizado um segmento. A partir da última marca à direita iniciou-se a vetorização do próximo incremento, representado pela linha em amarelo. O círculo na sua extremidade representa a região de tolerância compreendida pelo “*snap*”, ou seja, fica assegurado que o último nó desse segmento coincidirá com o primeiro nó do segmento seguinte se este for digitalizado dentro dessa região.

Tendo-se repetido os mesmos procedimentos para os outros temas (raios), foi acrescentado a cada tabela o campo correspondente ao comprimento do segmento, cujos valores foram calculados empregando-se o comando “*Returnlength*” (retornar o comprimento) e multiplicando-se o resultado pelo fator de conversão de escala, já

obtido anteriormente para essa fatia. Para poder efetuar operações envolvendo as medidas referentes aos quatro raios foi necessário agrupá-los numa só tabela através do comando “Join” (unir). O campo de ligação escolhido para a união de tabelas foi o código identificador do anel.

FIGURA 32 – DIGITALIZAÇÃO DE INCREMENTOS AO LONGO DE UM RAIO NA FOTO DIGITAL EMPREGANDO O RECURSO DE “SNAP”



Criou-se, então, um novo campo numérico na tabela única – denominado “ICA” – cujos registros foram preenchidos empregando-se o comando “Calculate” (calcular) e a seguinte expressão:

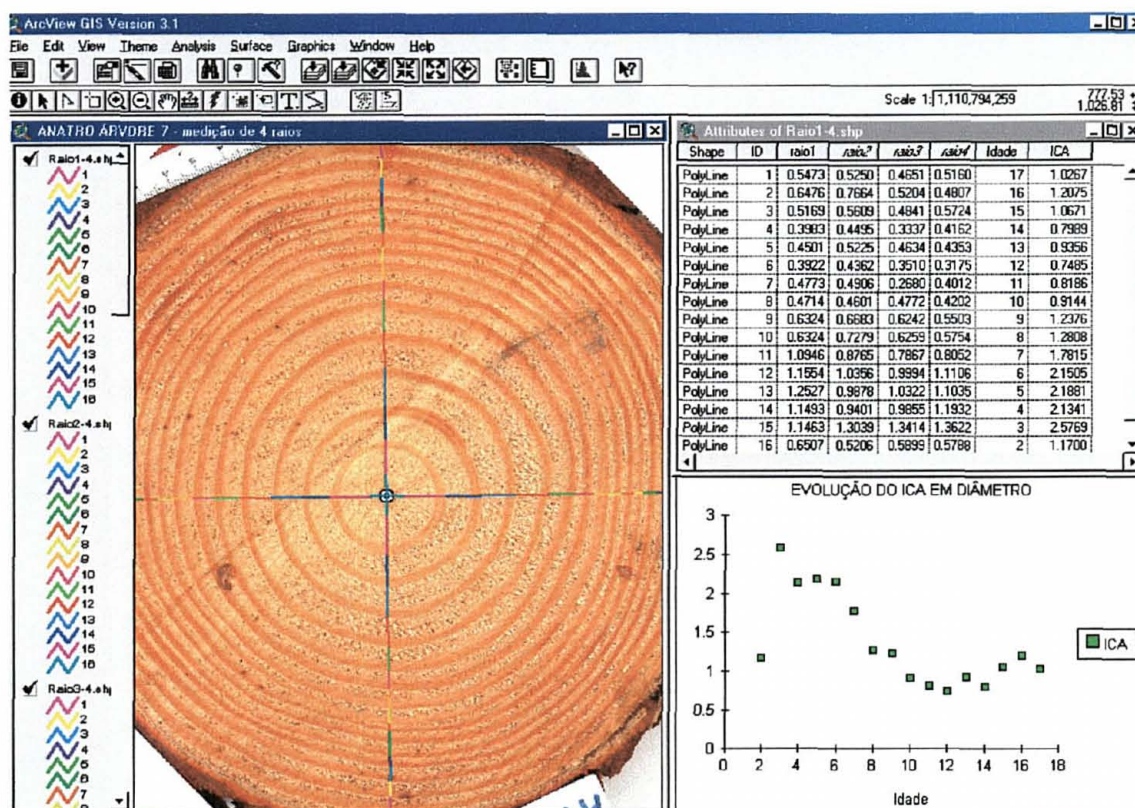
$$([ICA]) = ([R1] + [R2] + [R3] + [R4]) / 2, \quad \text{em que:}$$

ICA = incremento corrente anual em diâmetro (cm)

R1, R2, R3, R4 = valores de incremento corrente relativos a cada anel, ao longo dos raios 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Na Figura 33 é apresentada uma vista da janela do *software* ArcView onde se pode observar a foto digital ao fundo, os incrementos correntes (segmentos coloridos) vetorizados ao longo dos raios, a tabela única contendo os valores do ICA em diâmetro e o gráfico correspondente.

FIGURA 33 – “VISTA” DO *SOFTWARE* ARCVIEW CONTENDO A IMAGEM, INCREMENTOS CORRENTES, TABELA DE ATRIBUTOS E GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DO ICA EM DIÂMETRO

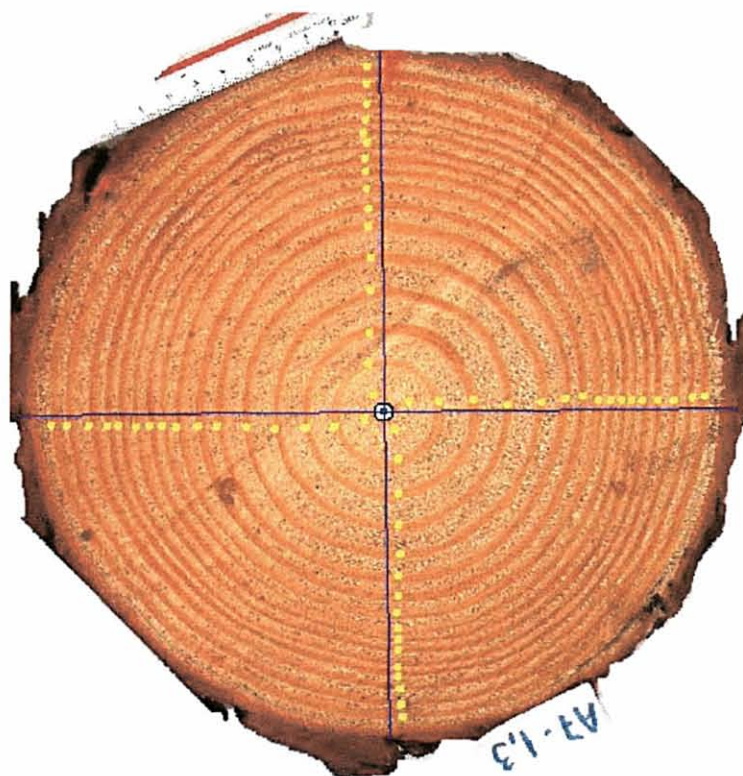


As saídas tabulares resultantes desse procedimento são semelhantes às aquelas obtidas no *software* DendroScan e, se efetuado o processamento para todas as fatias, os resultados podem ser importados por planilha eletrônica para cálculo do raio médio, da área transversal, da altura total a cada idade e demais elementos da ANATRO. Para tanto a tabela do *software* ArcView que agregou os dados das outras três tabelas deve ser exportada em formato de texto delimitado por caracteres para que todas as colunas acompanhem o arquivo. Isto é necessário porque as tabelas do programa, em formato DBF, só se encontram ligadas “virtualmente”, isto é, são visualizadas como uma tabela única, mas cada arquivo não é modificado em sua estrutura original.

Pôde-se constatar que a maior desvantagem desse procedimento alternativo reside na dificuldade de se fazer a correspondência entre os anéis dos diferentes raios, especialmente se a imagem não estiver muito nítida. O recurso de ampliação (*zoom*), ao mesmo tempo em que proporciona maior precisão na delimitação dos anéis, também aumenta a distância de deslocamento entre as várias regiões da fatia (raios). A solução possível seria a alternância entre “*zoom in*” (ampliação) e “*zoom out*” (redução), conforme a conveniência. No entanto, no caso de anéis estreitos, freqüentemente perde-se o referencial.

A alternativa testada foi utilizar novamente o recurso gráfico, dessa vez em forma de pontos, desenhados próximo ao limite dos anéis em cada um dos raios considerados. Houve, assim, uma contagem prévia do número de anéis, não sendo mais necessário interromper a vetorização dos incrementos para verificar o anel correspondente ao longo dos outros raios (fig. 34).

FIGURA 34 – IDENTIFICAÇÃO E MARCAÇÃO DOS ANÉIS AO LONGO DE QUATRO RAIOS USANDO O RECURSO GRÁFICO DO SOFTWARE ARCVIEW



4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

4.5.1 Número de Anéis Visíveis

Nas 29 fatias secas e lixadas – tanto nas originais observadas com lupa como nas escanerizadas – foram discriminados 268 anéis de crescimento. Destes, cerca de 45 foram desconsiderados por não ser possível visualizá-los nas imagens de *slides* escanerizados (v. item 4.2.6), restando, portanto, 223 anéis para medição.

No Apêndice 3 encontra-se a relação das fatias originais e respectivo número de anéis, bem como a percentagem de anéis discriminados por fatia nas imagens de *slides* e nas fotos digitais. Nas imagens de *slides* escanerizados puderam ser discriminados, em média, cerca de 87% dos anéis existentes em cada fatia, enquanto que nas fotos digitais esse número subiu para 92,5%, evidenciando a superioridade desse tipo de imagem em termos de nitidez.

4.5.2 Consistência e Organização dos Dados

As 223 áreas transversais de anéis de crescimento obtidas a partir de cada método e também as áreas “reais”, agrupadas num único arquivo para facilitar as análises, constituíram as primeiras séries de dados usadas na avaliação quantitativa dos resultados da pesquisa. A partir destas séries foram calculadas as respectivas diferenças percentuais absolutas e não-absolutas em relação às áreas transversais “reais”.

Uma avaliação dos valores contidos nas séries de dados associada à observação de diagramas de dispersão possibilitou detectar alguns valores discrepantes (“*outliers*”) em relação aos demais. Foram verificados os arquivos correspondentes e remedidas as áreas transversais quando se julgou necessário. A maioria absoluta dos *outliers* correspondeu ao anel mais próximo à medula, difícil de ser visualizado inclusive nas fatias originais escanerizadas, a partir das quais foram obtidas as áreas “reais”. Como as diferenças são calculadas em relação a essa área “real”, optou-se por

descartar os 14 anéis cujas diferenças entre áreas “reais” e estimadas por algum dos métodos foi muito discrepante em relação à massa de dados. Assim, o número final de anéis considerados para a análise foi igual a 209.

Sabendo-se que os erros percentuais obtidos em estimativas de áreas transversais são mais significativos para pequenas áreas (ROSOT et al., 2001a, 2001b; SANO et al., 1993) e dada a variabilidade no tamanho dos anéis, decidiu-se dividir os 209 anéis em classes de diâmetro, que é o parâmetro mais facilmente mensurável quando da análise de uma seção transversal. Primeiramente foram calculados os diâmetros correspondentes às áreas transversais medidas nas imagens das fatias secas, lixadas e escanerizadas e depois foram estabelecidas sete classes com base na média (\bar{x}) e no desvio-padrão (s) da distribuição de diâmetros dos anéis. O número de classes foi reduzido para cinco por não haver ocorrência de anéis nas classes extremas ($\bar{x}-3s$ e $\bar{x}+3s$).

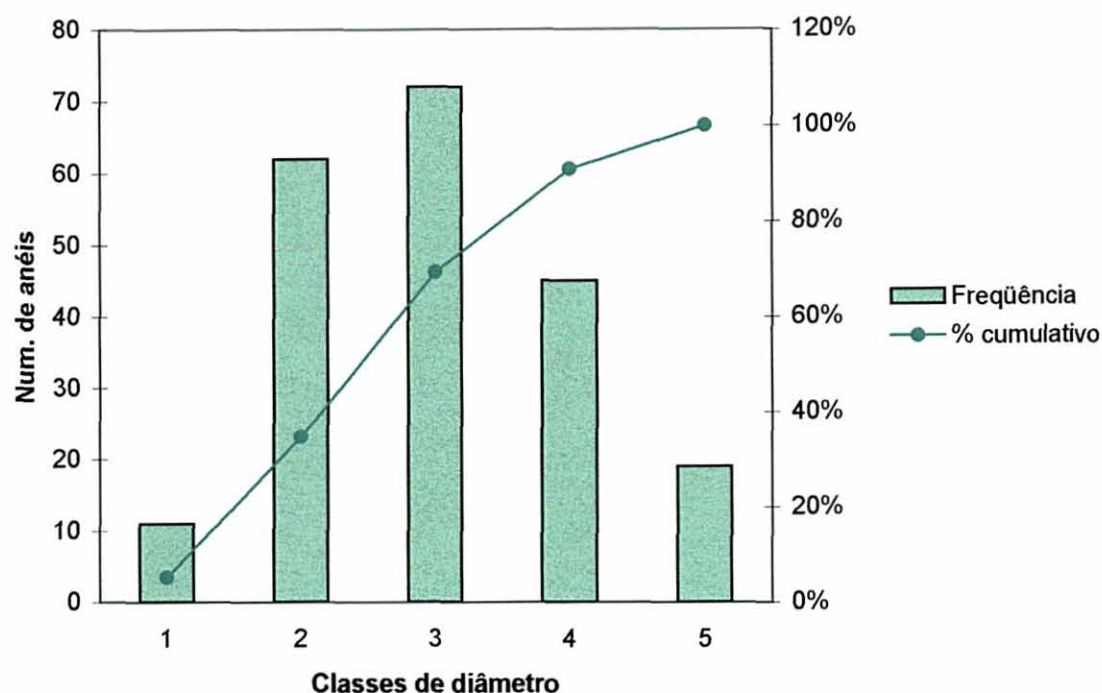
A Tabela 5 relaciona as classes de diâmetro e as respectivas frequências absolutas e em percentagem, representadas no gráfico da Figura 35. A classe média é a que possui a maior frequência, concentrando cerca de 34,5% dos anéis, seguida pela classe ($\bar{x} - 1s$), com frequência de 30%.

TABELA 5 – FREQUÊNCIA DE ANÉIS POR CLASSE DE DIÂMETRO

CLASSES DE DIÂMETRO ¹	Amplitude (cm)	Frequência	Frequência relativa (%)	Frequência acumulada (%)
1	$\leq 2,43$	11	5,26	5,26
2	2,44 - 6,99	62	29,67	34,93
3	7,00 - 11,55	72	34,45	69,38
4	11,56 - 16,11	45	21,53	90,91
5	$\geq 16,12$	19	9,09	100,00

¹Diâmetros correspondentes às áreas transversais “reais”

FIGURA 35 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE ANÉIS POR CLASSE DE DIÂMETRO



4.5.3 Avaliação da Acuracidade das Estimativas de Área Transversal

A acuracidade das estimativas de áreas transversais obtidas pelos diferentes métodos de medição foi avaliada através do ajuste de equações da reta. As áreas transversais “reais” (*scanner*) representaram a variável dependente (Y) e as áreas estimadas em cada método corresponderam à variável independente (X). A Tabela 6 apresenta, para cada um dos métodos, as estatísticas da regressão linear, incluindo os coeficientes do modelo e respectivos limites dos intervalos de confiança, o coeficiente de determinação múltipla e o erro padrão da estimativa em percentagem.

TABELA 6 – ESTATÍSTICAS DA REGRESSÃO LINEAR APLICADA AOS QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO

Coeficientes da regressão e respectivos intervalos de confiança; coeficiente de determinação múltipla e erro-padrão da estimativa em %	MÉTODO			
	<i>Dendroscan</i>	<i>Slide</i>	<i>Digital</i>	<i>Manual</i>
b_0	-0,05237	0,11078	-0,22418	0,76716
Lim.inf.(95%P.)	-0,42905	-0,28753	-0,66326	0,37739
Lim.sup.(95%P.)	0,32430	0,50910	0,21490	1,15693
b_1	1,00256	0,95603	0,96775	0,99587
Lim.inf.(95%P.)	0,99917	0,95261	0,96394	0,99236
Lim.sup.(95%P.)	1,00595	0,95945	0,97156	0,99937
R^2	0,999	0,999	0,999	0,999
syx (%)	2,16	2,29	2,52	2,25

O valor obtido para o coeficiente de determinação múltipla em todas as equações demonstra que aproximadamente 100% da variabilidade presente nas observações da variável-resposta (área transversal “real”) pôde ser explicada pela variável regressora (áreas estimadas pelos diferentes métodos), nos modelos ajustados.

Segundo WERKEMA e AGUIAR (1996) os intervalos de confiança são muito mais informativos do que os testes de hipóteses sobre determinados valores para β_0 e β_1 , uma vez que fornecem faixas dos possíveis valores que os parâmetros do modelo podem assumir, com um nível de confiança conhecido. No caso de estimativas de áreas transversais exatas, uma reta representando a relação entre as estimativas e as áreas “reais” possuiria um intercepto (b_0) igual a zero – passando pela origem – e um coeficiente de inclinação (b_1) igual a 1.

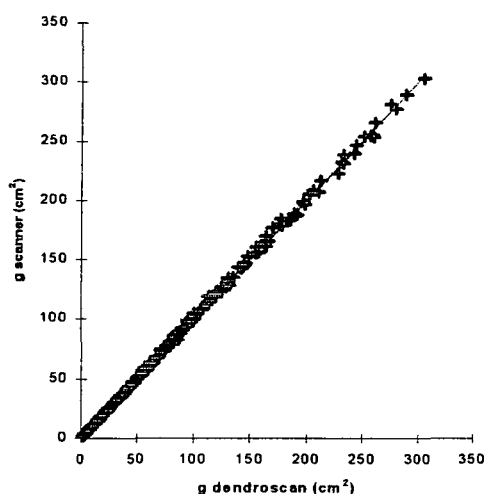
Pela Tabela 6 pode-se observar que apenas no método de medição manual o intervalo de confiança para o intercepto não incluiu o valor “0,00”, situando-se, no entanto, bem próximo disso ($0,38 \leq b_0 \leq 1,16$). Para os outros métodos ajustou-se novamente o modelo, desta vez sem o intercepto, obtendo-se os intervalos de confiança listados na Tabela 7.

TABELA 7 – INTERVALOS DE CONFIANÇA PARA O COEFICIENTE b_1 NOS MODELOS AJUSTADOS SEM O INTERCEPTO

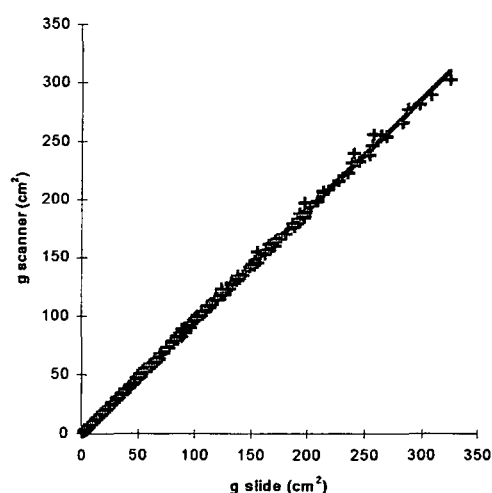
COEFICIENTES DE REGRESSÃO E INTERVALOS DE CONFIANÇA	MÉTODO		
	<i>Dendroscan</i>	<i>Slide</i>	<i>Digital</i>
b_1	1,00221	0,95674	0,96628
Lim.inf.(95%P.)	0,99999	0,95450	0,96378
Lim.sup.(95%P.)	1,00443	0,95900	0,96878

O intervalo de confiança para a inclinação da reta excluiu o valor “1,00” nos métodos que empregaram *slide* e câmera digital, donde se conclui que, sob o ponto de vista estatístico, apenas o programa DendroScan produziu estimativas acuradas de áreas transversais. Um exame dos gráficos mostrados nas Figuras 36 e 37, contudo, demonstra quão próximos estão os valores observados dos valores ajustados pela reta de regressão, o que é um bom indicativo da adequabilidade e do ajuste dos modelos.

FIGURA 36 - REGRESSÃO DA ÁREA TRANSVERSAL MEDIDA PELO SOFTWARE DENDROSCAN (a) E PELO MÉTODO DO SLIDE (b) SOBRE A ÁREA TRANSVERSAL “REAL” (SCANNER)

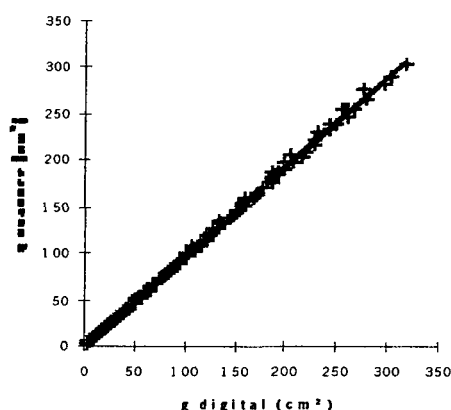


(a)

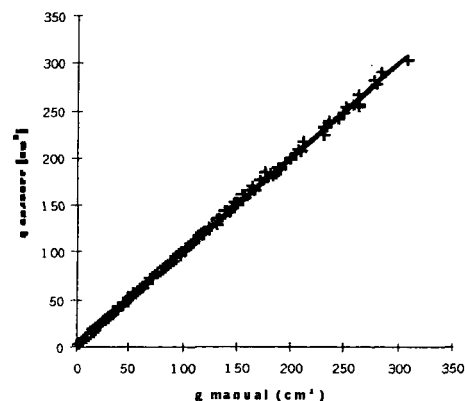


(b)

FIGURA 37 - REGRESSÃO DA ÁREA TRANSVERSAL MEDIDA PELO MÉTODO DA FOTO DIGITAL (a) E PELO MÉTODO MANUAL (b) SOBRE A ÁREA TRANSVERSAL “REAL” (SCANNER)



(a)



(b)

A acuracidade das áreas geradas pelo *software* DendrosScan deve-se, em parte, ao fato de, nesse método, terem sido utilizados recortes das mesmas imagens usadas para a medição da área “real”. Também a edição dos limites dos anéis foi efetuada tomando-se por base as imagens em níveis de cinza das fatias originais secas, lixadas e escanerizadas.

4.5.4 Avaliação dos Parâmetros de Forma da Seção Transversal

A análise dos valores obtidos para a ovalidade – que é expressa como a razão entre o menor e o maior diâmetro – confirmou resultados encontrados por outros pesquisadores (MÜLLER, 1958; SIOSTRZONEK, 1958; WEISE, 1987) no sentido de que parece haver um limite natural para esse parâmetro em torno de 0,80, pelo menos em se tratando de coníferas. Diâmetros extremos que não diferem entre si em mais de 20% caracterizam anéis cuja forma pode ser descrita como aproximadamente circular. O parâmetro ovalidade, portanto, não pôde ser analisado nesta pesquisa pela ausência de árvores que apresentassem seções transversais ovais.

Quanto à excentricidade, o mínimo valor encontrado para a razão entre o menor e o maior raio foi igual a 0,53, confirmando também resultados obtidos por ZIMMERLE (1942) e WEISE (1987). Todos os valores de excentricidade por anel são apresentados no Apêndice 4 e pode-se observar que, em média, as maiores diferenças entre raios extremos ocorrem nas porções mais baixas do fuste (fatias com código igual a 1 e 2), sendo que, a partir da metade deste ocorre um decréscimo gradativo da excentricidade até a altura total.

Uma análise visual da forma das seções transversais digitalizadas na tela do computador, associada à observação dos respectivos valores para a razão r/R , permitiu estabelecer três classes de excentricidade, relacionadas na Tabela 8 e acompanhadas das respectivas frequências absoluta e em percentagem. As classes 1, 2 e 3 representam, respectivamente, anéis cuja medula é centrada, levemente excêntrica e excêntrica.

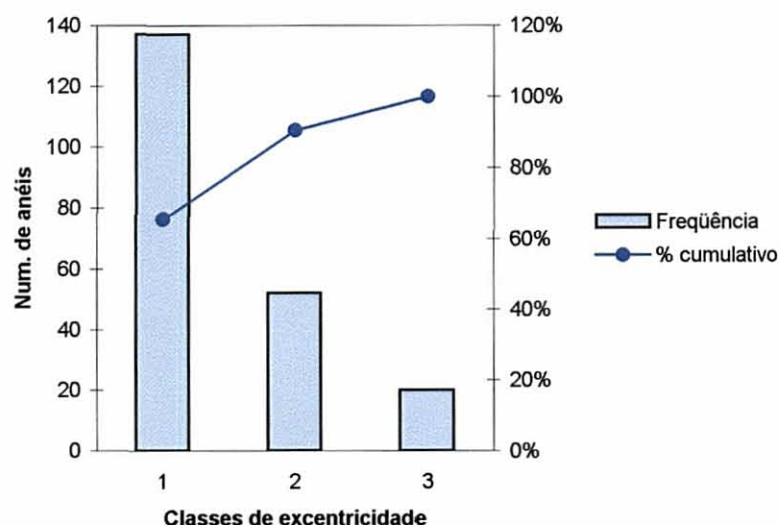
TABELA 8 – FREQUÊNCIAS POR CLASSE DE EXCENTRICIDADE

CLASSES DE EXCENTRICIDADE	AMPLITUDE (r/R) ¹	FREQUÊNCIA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)	FREQUÊNCIA ACUMULADA (%)
1	> 0,80	137	65,55	65,55
2	0,65 – 0,80	52	24,88	90,43
3	< 0,65	20	9,57	100,00

¹ Razão entre o menor (r) e o maior (R) do anel

A Figura 38 representa os dados da Tabela 8 e demonstra que a maior frequência ocorre na classe 1 (65,6%), ou seja, a grande maioria dos anéis analisados possui medula centrada.

FIGURA 38 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE ANÉIS POR CLASSE DE EXCENTRICIDADE

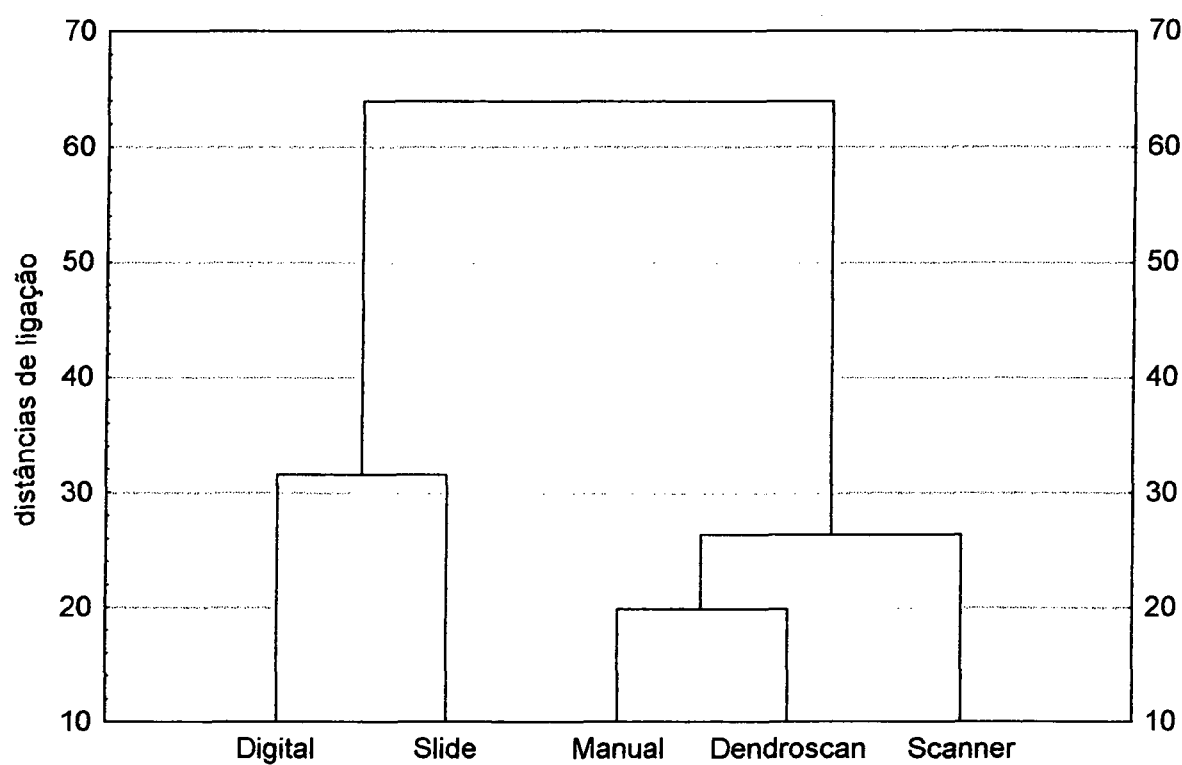


4.5.5 Comparação entre os Métodos de Obtenção de Áreas Transversais

4.5.5.1 Análise de agrupamento

Na análise de *clustering* utilizou-se os valores das áreas transversais “reais” e estimadas pelas diferentes metodologias para verificar possíveis tendências de agrupamentos nos dados. O dendrograma mostrado na Figura 39 é, sem dúvida, o resultado mais importante da análise de agrupamento. Na sua base, cada método de obtenção de área transversal é apresentado como um grupo individual. Um pouco acima as áreas transversais obtidas por medição manual e as obtidas pelo DendroScan são as primeiras a se reunir para formar um novo grupo. Em ambos os métodos a área transversal é o resultado da medição de quatro raios, cuja média é aplicada na fórmula da área do círculo (πR^2).

FIGURA 39 – DENDROGRAMA DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO COM LIGAÇÃO SIMPLES



O próximo grupo a ser formado resulta da união do primeiro (“manual-DendroScan”) com as áreas transversais “reais” (“*scanner*”). Estas foram obtidas por completa delimitação do anel, mas o grupo ainda apresenta uma característica comum a todos os membros que é o fato de as medições terem sido feitas a partir de fatias secas e lixadas.

O terceiro grupo na sequência engloba as áreas transversais obtidas pela medição de fotos digitais e de *slides* escanerizados. Em ambos os casos, trata-se de fatias verdes, cujas áreas transversais foram calculadas a partir da completa delimitação dos anéis.

Por fim, o quarto e último grupo agrega “manual-DendroScan-*scanner*” e “digital-*slide*”, completando, assim, o número de grupos possíveis nessa análise.

O exame dos *clusters* sugere, logo de início, que a forma de medição – se por raios ou por completa delimitação – é o primeiro aspecto de similaridade considerado

na formação dos grupos. No entanto, o fator preponderante, responsável pela divisão das séries de dados em dois grandes grupos, que irão se ligar apenas a uma distância superior a 60, é, na verdade, a condição da fatia – se seca ou verde.

Por outro lado percebe-se pelo primeiro *cluster* formado (“manual-scanner”) que o meio de visualização dos anéis teve, em princípio, pouca influência sobre o agrupamento dos dados. Isto significa que as diferenças entre os anéis medidos sobre a fatia original ou sobre imagens digitais foram tão pouco significativas que o agrupamento das duas séries de dados ocorreu com a menor distância de ligação (20).

Na Tabela 9 são apresentadas as distâncias euclidianas médias calculadas para as cinco séries de dados, que não necessariamente equivalem aos pontos em que ocorreram os agrupamentos, exceto para o primeiro grupo. Os grupos que mais se diferenciam são “DendroScan” e “slide”, com distância equivalente a 88,7.

TABELA 9 – DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS ENTRE AS ÁREAS TRANSVERSAIS OBTIDAS POR DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO

MÉTODOS	<i>Scanner</i>	Dendroscan	<i>Slides</i>	Digital	Manual
<i>Scanner</i>	0	26,4	77,9	63,9	29,0
Dendroscan	26,4	0	88,7	77,8	20,9
<i>Slides</i>	77,9	88,7	0	31,5	88,5
Digital	63,9	77,8	31,5	0	77,0
Manual	29,0	20,9	88,5	77,0	0

Testou-se, também, o uso de ligação completa como regra para a formação dos grupos. Nesse caso as distâncias entre os *clusters* foram determinadas pela maior distância existente entre duas áreas transversais quaisquer nos diferentes grupos. Os resultados foram iguais aos obtidos quando se empregou a distância simples.

Considerou-se a análise de agrupamento bastante informativa, especialmente porque as séries de dados apresentavam uma estrutura clara em termos de métodos que eram semelhantes uns aos outros. Essa estrutura se refletiu no dendrograma, com a formação de “ramos” distintos. A possibilidade de interpretá-los de forma lógica evidenciou o sucesso da aplicação da técnica.

4.5.5.2 Análise de efeitos principais e de interações

As diferenças percentuais entre áreas transversais “reais” e estimadas (Apêndice 12) constituíram a variável-resposta nesta análise que considerou não apenas o método de obtenção em si, mas, também, os fatores forma e tamanho do anel de crescimento, expressos, respectivamente, pelos valores de excentricidade e diâmetro. A Tabela 10 resume os elementos do modelo conceitual adotado para a análise, relacionando fatores e respectivos níveis, já descritos detalhadamente nos capítulos anteriores.

TABELA 10 – FATORES E NÍVEIS CONSIDERADOS NA ANÁLISE DOS MÉTODOS TESTADOS

FATORES	NÍVEIS
Método de obtenção da área transversal	<i>DendroScan</i> <i>Slide</i> Foto digital Manual
Classe de diâmetro dos anéis ¹	$\leq 2,43$ (1) 2,44 - 6,99 (2) 7,00 - 11,55 (3) 11,56 - 16,11 (4) $\geq 16,12$ (5)
Classe de excentricidade dos anéis	Medula centrada (1) Medula levemente excêntrica (2) Medula excêntrica (3)

¹Amplitudes em centímetros

As estatísticas descritivas calculadas para as quatro séries de dados correspondentes apenas aos métodos de medição, sem considerar os outros fatores (tab. 11), permitiram visualizar a amplitude de variação das diferenças percentuais entre áreas “reais” e estimadas. A maior variabilidade foi observada no método de medição manual, seguido pelo *slide*.

Os métodos *slide* e digital foram os que apresentaram as maiores diferenças médias absolutas percentuais entre áreas “reais” e estimadas (4,74% e 4,23%, respectivamente). Essas diferenças já eram esperadas considerando-se que as áreas “reais” foram obtidas a partir de fatias secas, lixadas e escanerizadas e que não foi

aplicado nenhum fator de contração radial/tangencial às áreas estimadas a partir de imagens de fatias verdes (*slide* e foto digital).

As áreas estimadas pelo método DendroScan apresentaram a menor diferença média percentual absoluta em relação às áreas “reais” (1,46%), o que evidencia ter sido este o método de medição mais acurado, seguido pelo método de medição manual (2,29%).

TABELA 11 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS ENTRE ÁREAS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO

MÉTODO	ESTATÍSTICAS						
	n	INTERVALO DE CONFIANÇA (95% PROBABILIDADE)			Min.	Max.	s
		Limite inferior	Média	Limite superior			
Dendroscan	209	1,24	1,46	1,69	0,01	12,20	1,66
Slide	209	4,45	4,74	5,03	0,12	12,07	2,10
Digital	209	3,99	4,23	4,47	0,14	10,16	1,74
Manual	209	1,91	2,29	2,67	0,01	18,79	2,80

NOTA: Intervalo de confiança(95% P.) = $\bar{x} \pm t \cdot s_{\bar{x}}$

s = desvio-padrão; n = número de observações

Todos os valores em percentagem, exceto n

Os gráficos apresentados nas Figuras 40 e 41 mostram o diagrama de dispersão das diferenças percentuais não-absolutas para cada método. A tendência de superestimativas observadas para as áreas estimadas pelos métodos fotográficos (digital e *slide*) são devidas, principalmente, às dimensões das fatias no estado verde e são mais pronunciadas para anéis menores. O método manual, por outro lado, apresenta subestimativas para as menores áreas e depois tende a estabilizar-se em torno de zero.

A análise visual sugere ser o método DendroScan aquele que apresenta a melhor distribuição de diferenças percentuais, concentrando-se a maioria em torno do eixo do “x” e, portanto, próximas de zero. A segunda melhor distribuição foi observada para as diferenças percentuais entre áreas “reais” e áreas estimadas por medição manual, embora apresente ligeira tendência a subestimativas para áreas pequenas.

FIGURA 40 – DISPERSÃO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS NÃO-ABSOLUTAS SOBRE AS ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS”(SCANNER): MÉTODOS DENDROSCAN E *SLIDE*

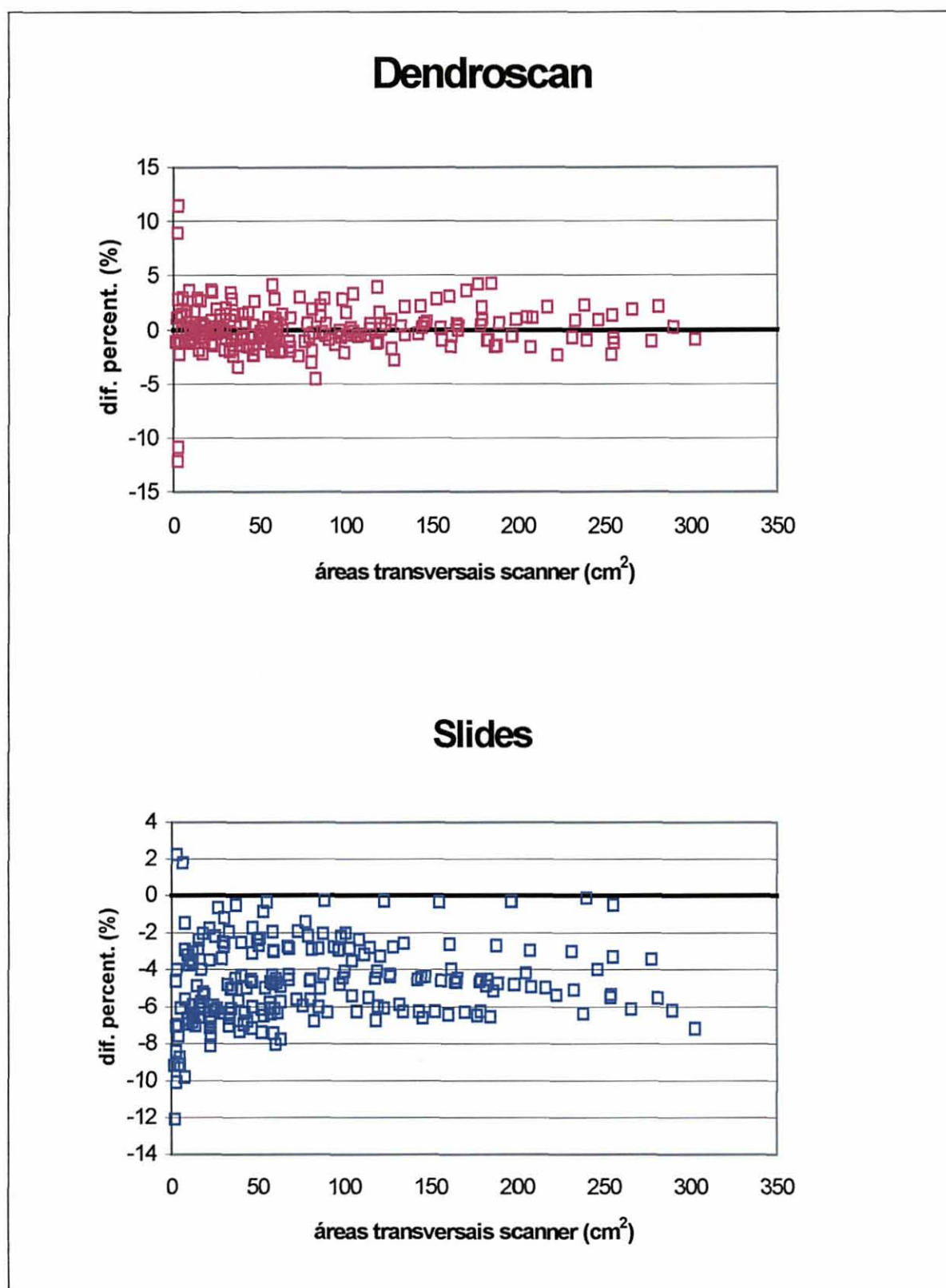
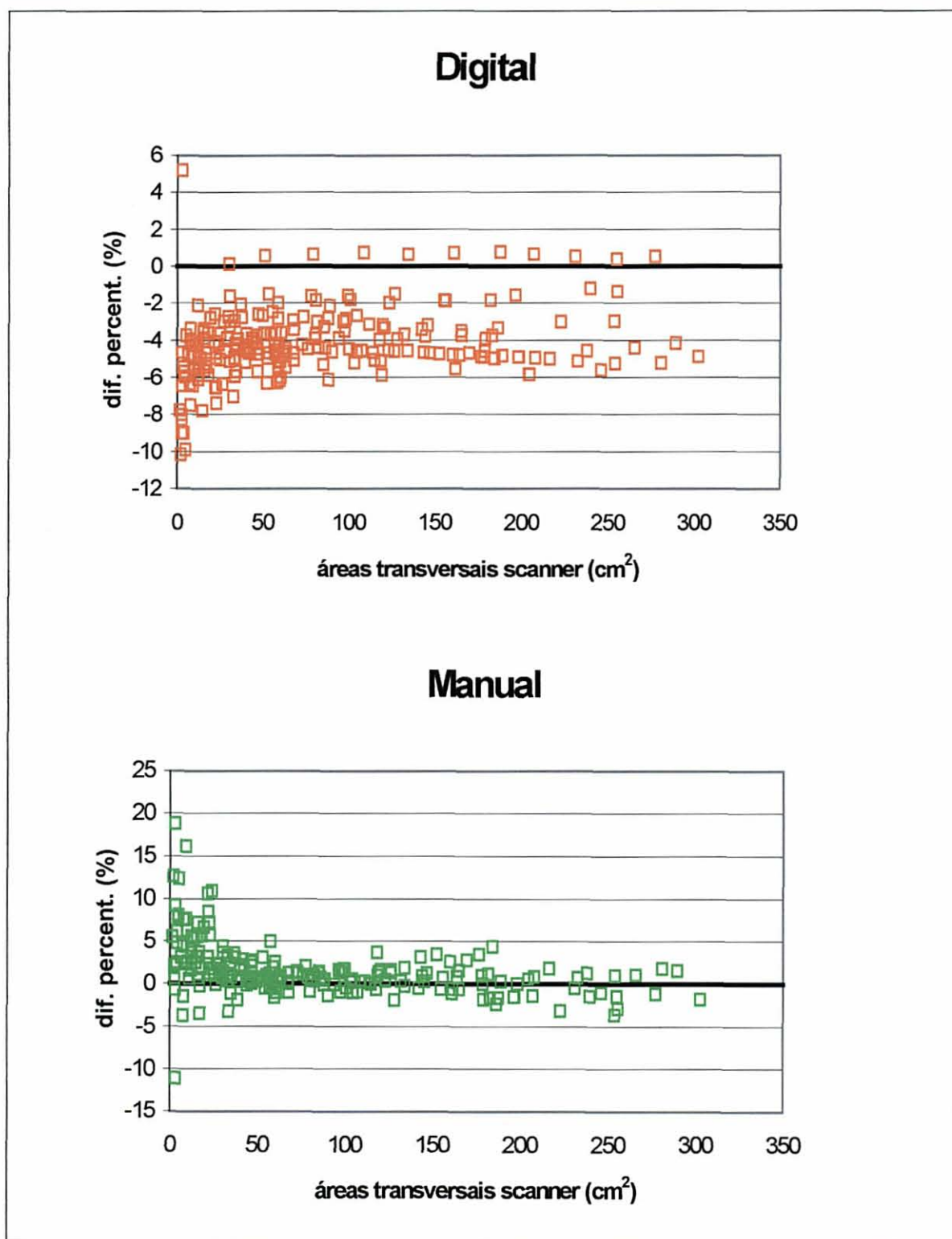


FIGURA 41 – DISPERSÃO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS NÃO-ABSOLUTAS SOBRE AS ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS”(SCANNER): MÉTODO DIGITAL E MANUAL



A análise de variância (ANOVA) de fator único foi efetuada considerando-se cada combinação de fator e nível como um tratamento de um delineamento inteiramente casualizado. No total foram realizadas sete ANOVAs: três delas para que pudessem ser avaliados os efeitos principais (efeitos de cada fator) e outras quatro para avaliar as interações em diversos níveis. As interpretações dos testes de comparação de médias efetuados após a ANOVA concentraram-se sempre sobre o efeito do fator método, não abordando, portanto, todas as relações passíveis de análise presentes nos dados.

4.5.5.2.1 ANOVA para exame dos efeitos principais dos fatores

Primeiramente foram considerados apenas quatro tratamentos, representados pelos quatro métodos de medição, cuja ANOVA se encontra resumida na Tabela 12. Existe pelo menos um método de medição significativamente diferente dos demais, conforme comprovado pelo teste F.

TABELA 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DO EFEITO PRINCIPAL “MÉTODO DE MEDIÇÃO”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	1519,9	3	506,63	112,45	0
Erro	3748,5	832	4,5055		
Total	5268,4	835			

Na segunda ANOVA, apresentada na Tabela 13, os resultados demonstraram que as áreas transversais estimadas para as cinco classes de diâmetro diferem significativamente entre si quando desconsiderados os métodos de medição e a forma do anel.

TABELA 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DO EFEITO PRINCIPAL “CLASSE DE DIÂMETRO”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	702,0619	4	175,5155	31,94076	8,79E-25
Erro	4566,371	831	5,495031		
Total	5268,4329	835			


Também a terceira ANOVA (tab. 14) permitiu constatar que há diferenças significativas entre áreas reais e estimadas considerando-se as diferentes classes de excentricidade para um nível de confiança de 95%.

TABELA 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DO EFEITO PRINCIPAL “CLASSE DE EXCENTRICIDADE”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	48,48532	2	24,24266	3,868648	0,021263
Erro	5219,948	833	6,266444		
Total	5268,4333	835			

Os resultados do teste de Spjøtvoll-Stoline efetuado para as médias dos tratamentos dessas três primeiras análises de variância encontram-se nos Apêndices 5 a 7. Considerando-se apenas o efeito dos métodos de medição, pôde-se concluir que as médias das diferenças percentuais absolutas para os métodos “*slide*” e “*digital*” são estatisticamente iguais. Todas as outras diferem delas e também entre si, conforme se pode observar na Tabela 15.

TABELA 15 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA MÉTODOS DE MEDIÇÃO

MÉDIAS MÉTODO	4,7398 Slide	4,2322 Digital	2,2929 Manual	1,4638 Dendro
				

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

O exame do efeito das classes de diâmetro (tab. 16) permitiu concluir que as diferenças médias absolutas encontradas para a classe de diâmetro 1 diferem de todas as demais. As médias das classes 2 e 5 são iguais entre si, bem como as médias das classes 5, 4 e 3.

TABELA 16 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA CLASSES DE DIÂMETRO

MÉDIAS CLASSES DE DIÂMETRO	6,574955	3,674625	2,696579	2,687683	2,676983
	1	2	5	4	3

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

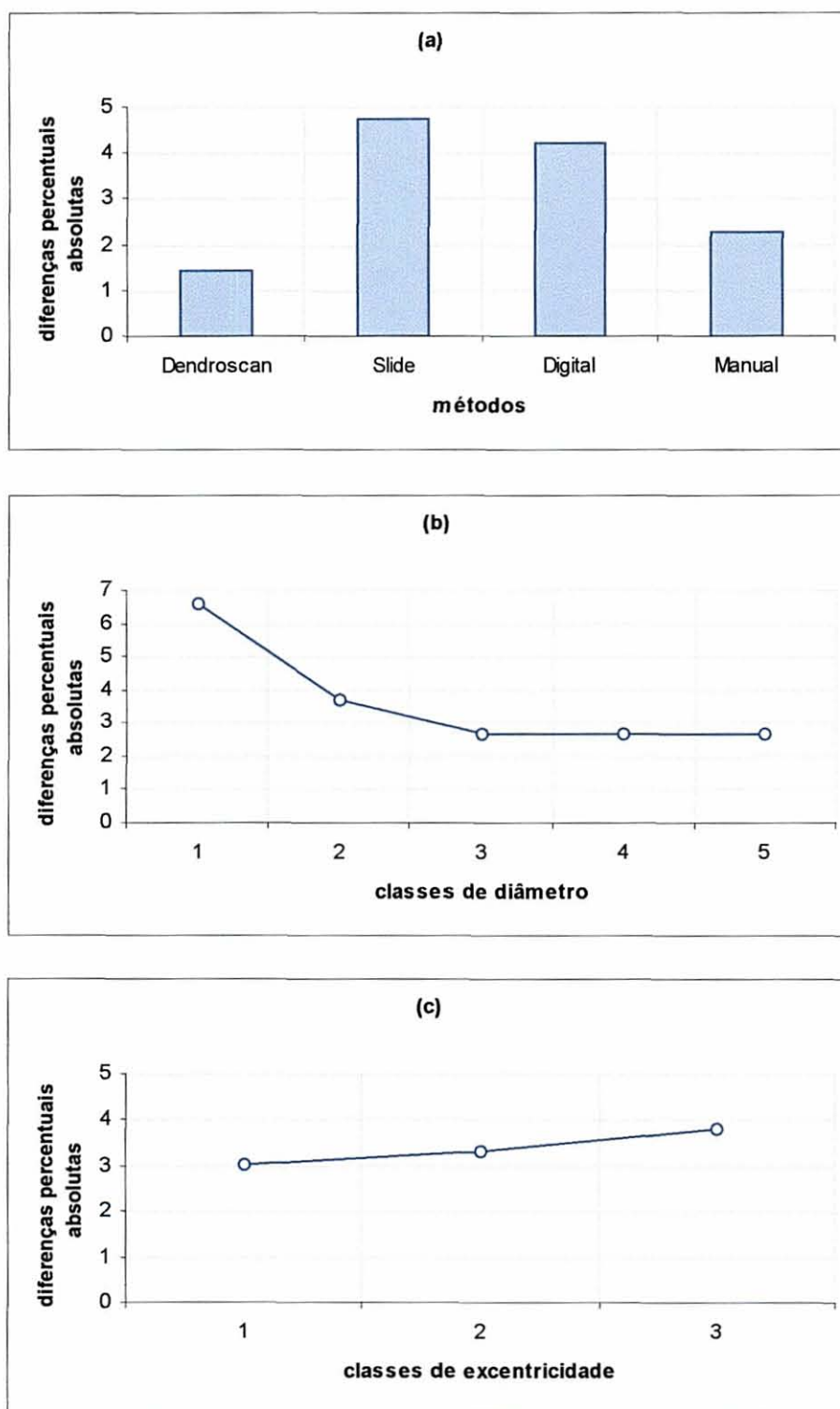
Os testes de comparação de médias não permitiram detectar diferenças significativas entre as médias das diferenças percentuais absolutas obtidas para as três classes de excentricidade a um nível de significância $\alpha=0,05$, conforme se pode observar no Apêndice 7.

A Figura 42 apresenta os gráficos das diferenças absolutas médias encontradas quando considerados os efeitos de cada fator isoladamente. O método “*slide*” é o que apresenta as maiores diferenças médias, seguido do “digital”, “manual” e, finalmente, pelo “DendroScan” (Fig. 42a), conforme já havia sido constatado em análises anteriores.

Pela análise do gráfico apresentado na Figura 42(b) pode-se afirmar que – não se levando em conta o método e a classe de excentricidade – os erros obtidos na estimativa de áreas transversais tendem a decrescer das menores para as maiores classes de diâmetro. Essa é uma tendência já observada na estimativa de áreas em geral, pois, quanto menor a área, mais significativos os erros cometidos na sua estimativa.

O gráfico das diferenças médias obtidas para as três classes de excentricidade (Fig. 42c) permite comprovar visualmente os resultados analíticos da ANOVA, ou seja, praticamente não se detecta o efeito isolado da excentricidade sobre a estimativa de áreas transversais, considerando-se que o p-valor (0,021) encontra-se muito próximo do nível de significância adotado na análise ($\alpha=0,05$).

FIGURA 42 – COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DOS FATORES: MÉTODO (a), CLASSE DE DIÂMETRO (b) E CLASSE DE EXCENTRICIDADE (c) CONSIDERADOS ISOLADAMENTE



4.5.5.2.2 ANOVA para exame das interações duplas de níveis dos fatores

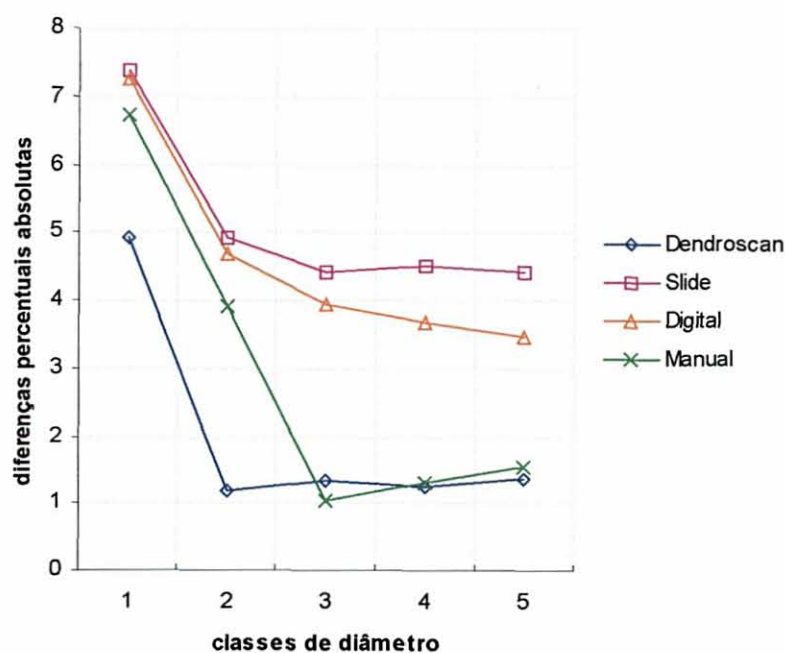
A quarta ANOVA considerou diferentes combinações dos níveis dos fatores “método” e “classe de diâmetro”, perfazendo um total de 20 tratamentos. O teste de F revelou que pelo menos uma das médias dos tratamentos difere das demais (tab. 17).

TABELA 17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “MÉTODO x CLASSE DE DIÂMETRO”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	2441,2197	19	128,48524	37,083855	0
Erro	2827,2131	816	3,4647219		
Total	5268,4328	835			

Na Figura 43 é mostrado o comportamento das diferenças médias absolutas quando se estimam as áreas transversais usando cada um dos métodos e para cada uma das classes de diâmetro. Os maiores erros se concentram nas classes menores e tendem a se estabilizar a partir da classe 3 (diâmetros maiores ou iguais a 7 cm).

FIGURA 43 – COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DOS FATORES MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO



Os níveis de significância obtidos pelo teste de Spjøtvoll-Stoline para a comparação de médias encontram-se listados no Apêndice 8, porém a Tabela 18 inclui as médias de cada tratamento (combinação de método e classe de diâmetro), que, quando compreendidas por uma barra, não são estatisticamente diferentes entre si.

TABELA 18 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO

CLASSE DE DIÂMETRO					
1	Médias Método	7,386636 Slide	7,250454 Digital	6,740455 Manual	4,922273 Dendro
2	Médias Método	4,906419 Slide	4,687387 Digital	3,905097 Manual	1,199597 Dendro
3	Médias Método	4,416791 Slide	3,933583 Digital	1,319611 Dendro	1,037944 Manual
4	Médias Método	4,511622 Slide	3,671467 Digital	1,311022 Manual	1,256622 Dendro
5	Médias Método	4,428052 Slide	3,458842 Digital	1,538526 Manual	1,360895 Dendro

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

Associando-se as informações da Tabela 18 e da Figura 43 constata-se que, para anéis pertencentes à menor classe de diâmetro, os erros são iguais, qualquer que seja o método de medição empregado. Na classe 2 o método DendroScan proporciona uma significativa diferença na acuracidade em relação aos demais. Nas classes 3 e 4 formam-se dois grupos, isto é, sempre que as áreas transversais são estimadas pelo método *slide* ou digital obtêm-se erros significativamente maiores do que ao usar o método manual ou DendroScan. Na classe 5 o maior erro é obtido com a medição por *slide*, que se equivale ao método digital. Este é estatisticamente igual a todos os outros. Por outro lado os erros obtidos ao se estimar áreas pelo método manual e DendroScan diferem apenas daqueles referentes ao método *slide*.

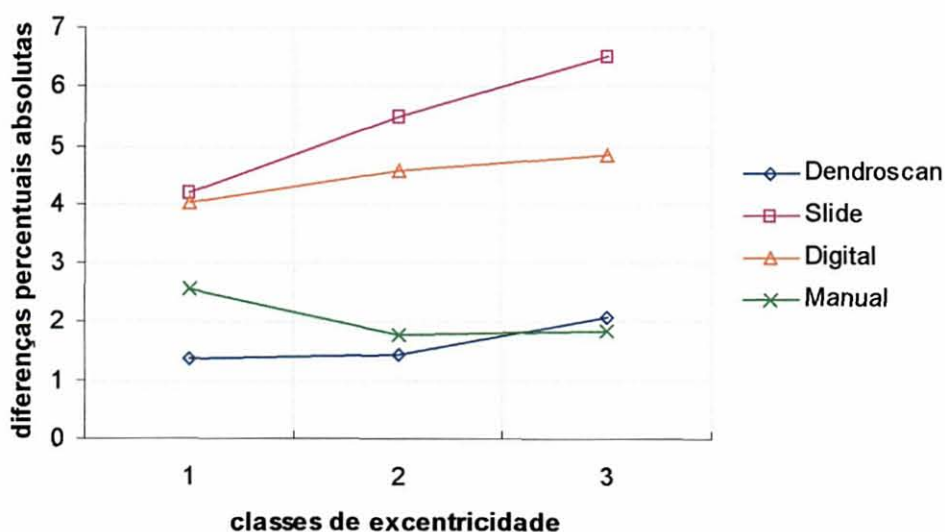
O exame da Tabela 19, que contem os resultados da quinta ANOVA, permite afirmar que pelo menos uma das combinações de método e classe de excentricidade gera diferenças médias percentuais absolutas diferentes das demais em relação às estimativas de áreas transversais, desconsiderando-se, aqui, as classes de diâmetro.

TABELA 19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “MÉTODO x CLASSE DE EXCENTRICIDADE”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	1707,3556	11	155,21414	35,9151	0
Erro	3561,0774	824	4,3216958		
Total	5268,4330	835			

O gráfico apresentado na Figura 44 mostra a diferença média percentual absoluta obtida em cada um dos métodos de acordo com a forma da seção transversal. Observa-se que há uma tendência geral de aumento de erros com o aumento da excentricidade quando se empregam métodos fotográficos (*slide* e *digital*), que, no entanto, é significativo apenas para o método *slide* (v. Apêndice 9).

FIGURA 44 – COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DOS FATORES MÉTODO E CLASSE DE EXCENTRICIDADE



Os resultados dos testes de comparação de médias, apresentados na Tabela 20 e no Apêndice 9, permitem concluir que, independentemente do grau de excentricidade do anel, os métodos *slide* e digital sempre proporcionam a maior diferença média percentual absoluta entre áreas “reais” e estimadas. Para seções transversais cuja forma varia de excêntrica a moderadamente excêntrica os melhores métodos de estimativa de áreas são o manual e o DendroScan, que não diferem estatisticamente entre si. Nas seções centradas, o método que proporciona os menores erros é o DendroScan.

Esperava-se que os métodos que usam média de raios (DendroScan, manual) inserida na fórmula da área do círculo para a obtenção de áreas transversais gerassem estimativas menos exatas das áreas “reais”, principalmente quando a seção é excêntrica. Tal fato não ocorreu, possivelmente porque os quatro raios considerados para análise, incluindo-se aí o maior raio na idade atual, permitiram obter um raio médio representativo que, aliado à circularidade prevalecente nas seções, produziu estimativas acuradas de área transversal.

TABELA 20 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA MÉTODO E CLASSE DE EXCENTRICIDADE

CLASSE DE EXCENTRICIDADE					
1	Médias	4,200569	4,015620	2,556066	1,379664
	Método	Slide	Digital	Manual	Dendro
2	Médias	5,481538	4,559308	1,770577	1,440942
	Método	Slide	Digital	Manual	Dendro
3	Médias	6,504900	4,865050	2,099700	1,848500
	Método	Slide	Digital	Dendro	Manual

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

A Tabela 21 – resumo da sexta ANOVA – mostra que existe diferença significativa entre pelo menos uma das médias que envolvem a combinação das

diversas classes de diâmetro e classes de excentricidade. No entanto, essa interação não é de interesse prático, uma vez que não envolve os métodos de obtenção de área transversal – o fator cujos efeitos se deseja avaliar nesta pesquisa.

TABELA 21 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “CLASSE DE DIÂMETRO x CLASSE DE EXCENTRICIDADE”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	944,7731	12	78,731094	14,986306	9,597E-29
Erro	4323,6597	823	5,2535357		
Total	5268,4328	835			

4.5.5.2.3 ANOVA para exame da interação tripla de níveis dos fatores

As análises envolvendo três fatores são sempre mais complexas e dependem do exame conjunto dos efeitos principais e das interações duplas para sua completa interpretação (STEEL e TORRIE, 1960).

Os quatro métodos, as cinco classes de diâmetro e as três classes de excentricidade geraram 60 combinações possíveis, dentre as quais 52 foram efetivamente empregadas na ANOVA, pois as combinações das menores classes de diâmetro (1 e 2) com anéis excêntricos ou moderadamente excêntricos obtiveram poucos ou nenhum representante entre os dados. Nesse caso o principal fator responsável foi a excentricidade, que teve concentradas 65% das observações no primeiro nível (classe 1) e apenas 25% na classe 2 e 10% na classe 3. Além disso os menores diâmetros correspondem às idades mais jovens que possuem, na sua maioria, medula centrada e, portanto, pertencem à classe 1.

Os resultados da sétima e última ANOVA efetuada – sumarizados na Tabela 22 – demonstram que pelo menos uma das diferenças médias obtidas pela combinação dos fatores método, classe de diâmetro e excentricidade é estatisticamente diferente das demais.

TABELA 22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXAME DA INTERAÇÃO “MÉTODO DE MEDIÇÃO x CLASSE DE DIÂMETRO x CLASSE DE EXCENTRICIDADE”

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F	P-VALOR
Tratamento	2818,2397	51	55,259602	17,681679	0
Erro	2450,1931	784	3,1252463		
Total	5268,4328	835			

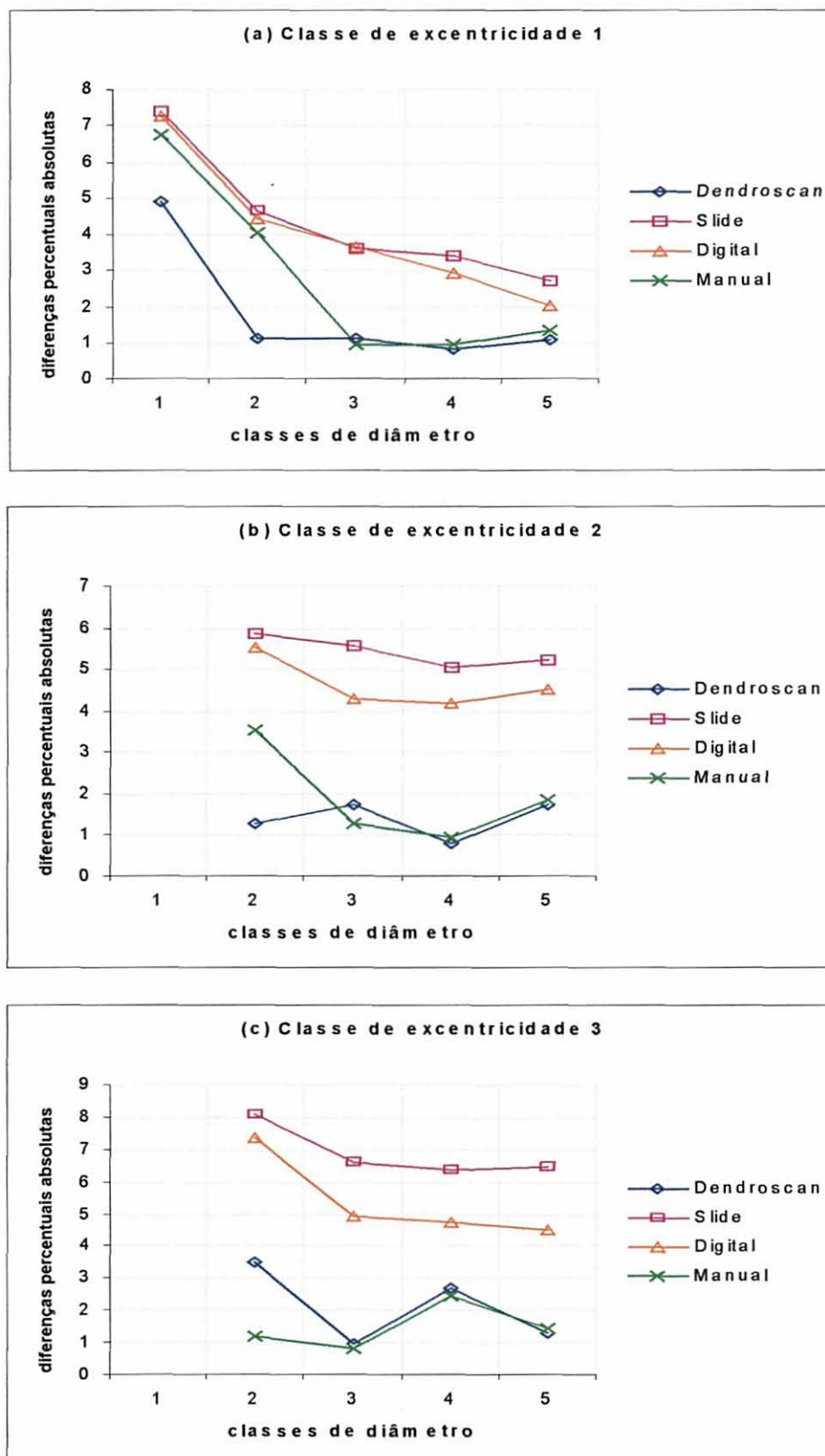
A abordagem empregada nesta pesquisa consistiu em estudar o comportamento das interações de método e classe de diâmetro – mais significativas e relevantes do ponto de vista prático – dentro das diferentes classes de excentricidade (fig. 45a-c).

STEEL e TORRIE (1960) afirmam que a interação mede a “falha” da resposta relativa a um dos fatores em ser a mesma para todos os níveis do outro fator. Portanto, na relação “método-diâmetro” analisou-se, dentro de cada classe de diâmetro, se as diferenças médias percentuais absolutas entre áreas “reais” e estimadas variavam conforme o método usado.

Observou-se que, em geral, as interações refletiram diferenças na magnitude da resposta, porém não nas tendências. Os métodos *slide* e digital apresentaram as maiores diferenças absolutas percentuais médias para todas as classes de diâmetro e em todas as classes de excentricidade, variando de um máximo de 8% a um mínimo em torno de 2%. Conforme já se observou anteriormente, essa superestimativa das áreas transversais é decorrente da condição verde da fatia quando fotografada.

Os métodos DendroScan e manual foram os mais acurados em todas as combinações de níveis e fatores, sendo que as diferenças médias percentuais absolutas nas estimativas de áreas transversais variaram de 0,80% a 6,74%. Embora os erros desses métodos apresentem baixa magnitude em termos médios, observa-se que variam muito conforme a classe de diâmetro, principalmente no caso de anéis excêntricos.

FIGURA 45 – COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO DOS FATORES MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO PARA CLASSES DE EXCENTRICIDADE 1 (a), 2 (b) E 3 (c)



Outra constatação efetuada a partir dos gráficos é que, para anéis centrados, há um decréscimo constante das diferenças percentuais relativas aos métodos *slide* e digital com o aumento do diâmetro. Essa tendência, porém, não se verifica ou é bem menos pronunciada para as seções excêntricas ou moderadamente excêntricas.

Os resultados dos testes de comparação de médias entre tratamentos – cuja significância é apresentada no Apêndice 11 – foram sumarizados nas Tabelas 23, 24 e 25 para as combinações de método e diâmetro analisadas para as classes de excentricidade 1, 2 e 3, respectivamente.

Pôde-se constatar que, quando os anéis possuem medula centrada e diâmetros menores que 2,4 cm (classe 1) ou maiores que 16,0 cm (classe 5), não há diferenças em se estimar suas áreas empregando qualquer um dos métodos. O mesmo se verifica se os anéis forem moderadamente excêntricos – nesse caso, apenas para a maior classe de diâmetro, visto não haver observações para a classe 1.

Na classe de diâmetro 2 – entre 2,4 cm e 7,0 cm – não existe diferença ao se estimar a área de anéis centrados usando os métodos *slide*, digital ou manual. O método DendroScan é o mais exato e difere estatisticamente dos demais. Para anéis moderadamente excêntricos os melhores métodos, indistintamente, são o DendroScan ou o manual. Se os anéis forem excêntricos, o método indifere.

Para anéis cujos diâmetros se encontram entre 7,0 cm e 11,5 cm (classe 3) as estimativas de áreas através dos métodos *slide* e digital se equivalem, qualquer que seja a classe de excentricidade a que pertençam. Os métodos mais acurados, no entanto, são o manual e o DendroScan, estatisticamente iguais entre si, a um nível de significância $\alpha=0,05$.

Na classe de diâmetro 4 – entre 11,5 cm e 16,0 cm – os métodos DendroScan e manual são os mais acurados na estimativa de áreas transversais se os anéis possuírem medula centrada ou moderadamente excêntrica. O mesmo ocorre para a classe de excentricidade 3, agregando-se a este grupo o método digital.

Na análise das interações triplas, o baixo número de repetições dentro de alguns tratamentos pode ter influenciado os resultados, uma vez que estes são obtidos a partir de médias. Devido a isso, as conclusões da análise devem ser consideradas com ressalvas.

TABELA 23 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO NA CLASSE DE EXCENTRICIDADE 1

CLASSE DE DIÂMETRO					
1	Médias Método	7,386636 Slide	7,250454 Digital	6,740455 Manual	4,922273 Dendro
2	Médias Método	4,629340 Slide	4,448780 Digital	4,040060 Manual	1,135440 Dendro
3	Médias Método	3,657378 Digital	3,633267 Slide	1,137822 Manual	0,9253111 Dendro
4	Médias Método	3,380044 Slide	2,925869 Digital	0,9503043 Manual	0,8016522 Dendro
5	Médias Método	2,690000 Slide	2,008625 Digital	1,317125 Manual	1,057125 Dendro

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

TABELA 24 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO NA CLASSE DE EXCENTRICIDADE 2

CLASSE DE DIÂMETRO					
2	Médias Método	5,878273 Slide	5,527182 Digital	3,539091 Manual	1,283909 Dendro
3	Médias Método	5,572696 Slide	4,297261 Digital	1,741348 Dendro	1,297956 Manual
4	Médias Método	5,044091 Slide	4,169546 Digital	0,9321818 Manual	0,7800909 Dendro
5	Médias Método	5,246000 Slide	4,511857 Digital	1,861857 Manual	1,739143 Dendro

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

TABELA 25 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS¹ PARA MÉTODO E CLASSE DE DIÂMETRO NA CLASSE DE EXCENTRICIDADE 3

CLASSE DE DIÂMETRO					
2	Médias Método	8,070000 Slide	7,380000 Digital	3,480000 Dendro	1,183000 Manual
3	Médias Método	6,585000 Slide	4,949750 Digital	0,9397500 Dendro	0,8100000 Manual
4	Médias Método	6,345182 Slide	4,732364 Digital	2,684454 Dendro	2,444091 Manual
5	Médias Método	6,472750 Slide	4,516500 Digital	1,415500 Manual	1,306500 Dendro

¹Médias compreendidas por uma barra são iguais entre si a um nível de significância $\alpha=0,05$

4.5.6 Comparação dos Resultados da ANATRO para a Árvore Inteira

A primeira comparação entre os resultados da ANATRO efetuada em ambiente de geoprocessamento (digital) e aqueles obtidos pela ANATRO convencional (manual) foi relativa ao número de anéis de crescimento detectados por um e por outro método (tab. 26).

TABELA 26 – NÚMERO DE ANÉIS POR FATIA NA ANATRO DIGITAL E ANATRO MANUAL

FATIA	ALTURA (m)	NÚMERO DE ANÉIS	
		Manual	Digital
1	0,00	17	17
2	0,30	17	17
3	0,70	17	17
4	1,30	16	16
5	2,00	15	15
6	2,70	15	15
7	3,70	15	14
8	4,60	14	14
9	5,60	14	13
10	6,70	13	13
11	7,70	12	12
12	8,70	12	12
13	9,70	11	11
14	10,70	11	11
15	11,80	10	10
16	12,70	10	10
17	13,60	9	9
18	14,70	8	8
19	15,70	8	8
20	16,70	7	7
21	17,70	6	6
22	18,50	6	6
23	19,60	5	5
24	20,60	4	4
25	21,70	3	3
26	22,90	3	2
27	23,90	2	2
28	24,90	2	1
29	25,70	1	0
30	26,40	0	0

Apenas em cinco das trinta fatias houve diferença entre o número de anéis e essa diferença não excedeu a uma unidade. O anel que não se conseguiu detectar na imagem digital foi sempre aquele mais próximo à medula. Também nas fatias secas e

lixadas foi difícil localizar os anéis mais internos, porém, nesses casos, recorreu-se ao exame da face inferior, não-lixada da fatia.

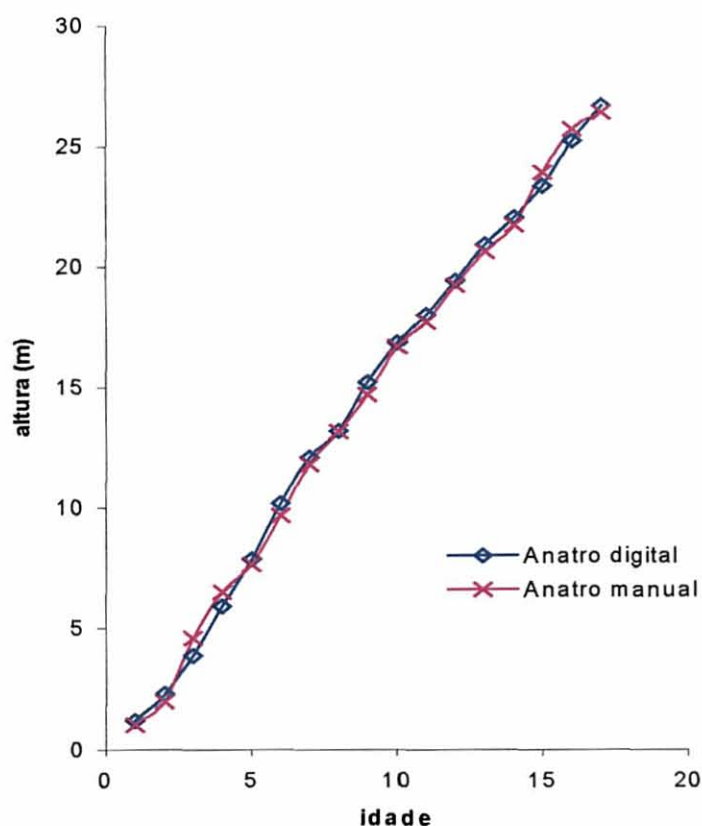
Em função dos diferentes valores dos raios médios obtidos pelos métodos manual e digital, também as estimativas das alturas totais a cada idade apresentaram valores diversos para um e outro método. As duas séries de dados encontram-se listadas na Tabela 27.

TABELA 27 – ALTURAS OBTIDAS A PARTIR DE ANATRO MANUAL E DIGITAL

IDADE	ALTURA TOTAL (m)	
	Manual	Digital
1	1,04	1,21
2	2,00	2,30
3	4,60	3,87
4	6,51	5,91
5	7,65	7,86
6	9,70	10,19
7	11,80	12,09
8	13,18	13,21
9	14,70	15,20
10	16,66	16,84
11	17,70	18,00
12	19,22	19,40
13	20,60	20,90
14	21,70	22,03
15	23,90	23,33
16	25,70	25,22
17	26,40	26,66

Um teste t para amostras emparelhadas não detectou diferenças significativas entre as duas séries de dados para um nível de significância $\alpha=0,05$. No gráfico apresentado na Figura 46 observa-se quão próximas estão as alturas totais a cada idade estimadas a partir de dados oriundos da ANATRO manual e da ANATRO digital.

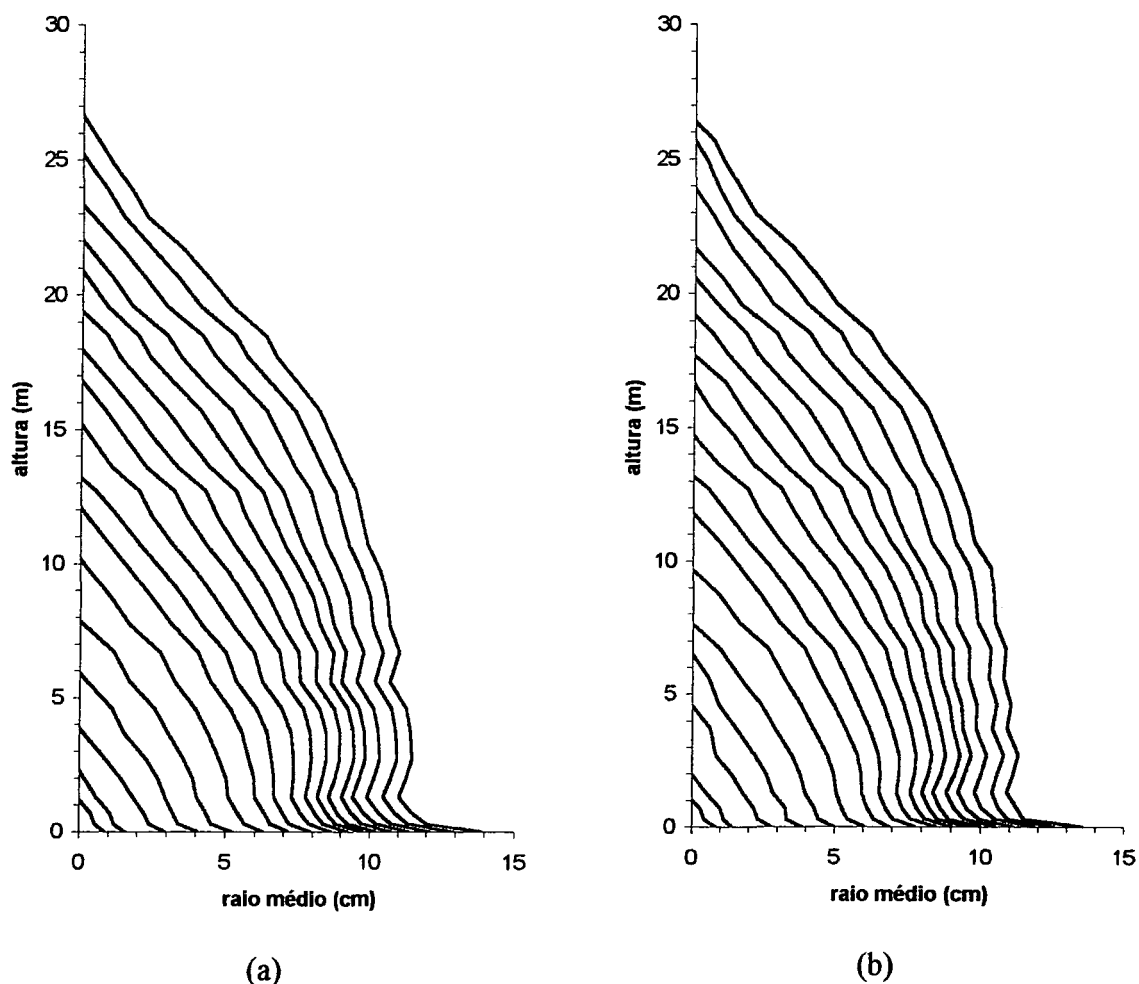
FIGURA 46 – CURVA DE ALTURA SOBRE IDADE COM DADOS DE ANATRO DIGITAL E ANATRO MANUAL



Os perfis da árvore – construídos a partir das séries de dados de ANATRO digital e manual – são apresentados nas Figuras 47 (a) e 47 (b), respectivamente.

Em ambos os perfis se observam nitidamente as mudanças na forma do fuste descritas por ASSMANN (1970): de neilóide para parabolóide, a cerca de 1,30 metros de altura e, depois, a aproximadamente 23 metros, de parabolóide cúbico para cone. Percebe-se, também, que, de uma maneira geral, o perfil dessa árvore na ANATRO digital apresenta linhas mais suavizadas, arredondadas e mudanças menos abruptas ao longo do fuste quando comparado com o da ANATRO manual. Possivelmente isso se deve à diferente forma de medição das áreas transversais empregada nos métodos. A ANATRO digital utiliza a completa delimitação do anel e o raio médio considerado para a elaboração do perfil é calculado a partir da área transversal, o que, de certa forma, minimiza as variações individuais entre e dentro das seções.

FIGURA 47 – PERFIS DA ÁRVORE OBTIDOS POR ANATRO DIGITAL (a) E ANATRO MANUAL (b)



Os volumes por idade (fig. 48 e tab. 28) estimados a partir das duas séries de dados (digital e manual) também foram comparados através de um teste *t* para amostras emparelhadas, que revelou haver diferenças significativas entre eles a um nível de confiança de 95%. A diferença média percentual absoluta entre os volumes estimados por ANATRO manual e digital foi igual a 7%.

Conforme já observado durante a análise dos métodos de obtenção de áreas transversais usando fotografias digitais (v. item 4.5.5), as áreas dos anéis refletem a condição úmida das fatias. Nesse caso, os volumes por idade estimados pela ANATRO digital correspondem ao volume verde da árvore.

FIGURA 48 – VOLUMES POR IDADE ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DE ANATRO MANUAL E DIGITAL

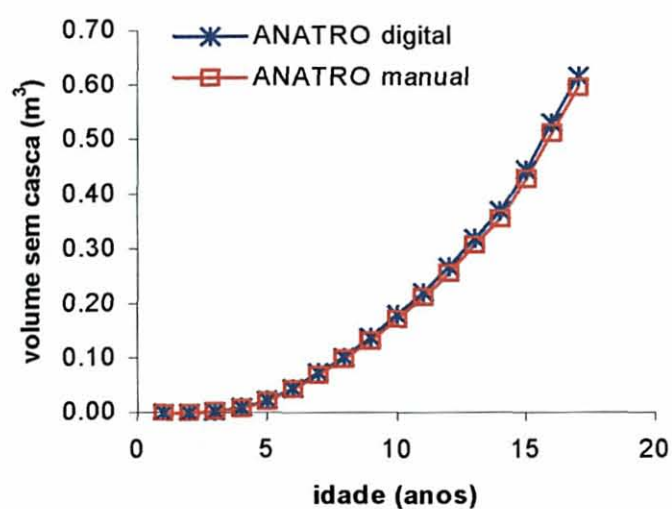


TABELA 28 – VOLUMES POR IDADE ESTIMADOS A PARTIR DE DADOS DE ANATRO MANUAL E DIGITAL

IDADE	VOLUME TOTAL SEM CASCA (m³)	
	Manual	Digital
1	0,0000652	0,0000898
2	0,0004452	0,0005313
3	0,0031242	0,0032098
4	0,0092303	0,0096097
5	0,0214903	0,0228155
6	0,0428904	0,0451057
7	0,0702533	0,0735072
8	0,0978647	0,1018369
9	0,1323609	0,1382406
10	0,1716171	0,1791090
11	0,2110175	0,2197424
12	0,2556577	0,2662753
13	0,3065571	0,3188638
14	0,3556391	0,3699569
15	0,4280997	0,4438381
16	0,5115830	0,5304838
17	0,5961613	0,6165403

4.6 APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO EM MEIO DIGITAL

Durante todo o desenvolvimento da pesquisa buscou-se avaliar a exequibilidade das metodologias propostas para a medição digital de anéis de crescimento. Além dos parâmetros de acuracidade, analisados sob o ponto de vista estatístico, foram considerados, também, os aspectos operacionais de cada método, incluindo equipamentos e *software*.

O baixo valor encontrado para a diferença média percentual absoluta entre áreas “reais” e estimadas por medição manual (2,29%) induz a um questionamento sobre o efetivo ganho na utilização de métodos alternativos (digitais) para a obtenção de áreas transversais.

Considera-se que a eliminação da necessidade do transporte das fatias ao laboratório, bem como da secagem e aplicação de lixas, constitui a principal vantagem do emprego de técnicas fotográficas nos procedimentos de análise de tronco. Um segundo aspecto a ser levado em consideração é a significativa redução do espaço físico necessário para o armazenamento dos dados, pois tanto as imagens das fatias como os resultados das medições passam a ser arquivados em meio digital (CD-ROM, HD, *Zip-disk*, etc).

Outro fator relevante refere-se à utilização de SIGs na medição de anéis de crescimento e à conseqüente possibilidade de elaboração de bancos de dados, em que as informações espaciais (localização dos anéis na fatia) são associadas aos atributos alfa-numéricos (identificação e características dos anéis, das fatias, das árvores e do povoamento; áreas transversais; raios médios; incrementos radiais; ovalidade; excentricidade). Os SIGs, por definição, são sistemas capazes de armazenar, manipular, atualizar e recuperar essas informações, inclusive adequando-as a outros tipos de processamento, como ocorreu com as áreas transversais, utilizadas para cálculos posteriores na ANATRO.

Nas empresas onde o SIG já é efetivo ou ainda está sendo implementado, a aplicabilidade da medição digital de anéis de crescimento está condicionada ao grau de

envolvimento dos profissionais de engenharia florestal com a operacionalização do sistema. Descentralizar o SIG e difundir o seu uso – antes restrito aos departamentos de cartografia e cadastro – é uma tendência atualmente observada nas empresas florestais (VENTURI, 2000).

O *software* ArcView (ESRI), empregado nesta pesquisa, mostrou-se bastante adequado em todas as etapas do processamento das áreas transversais, quaisquer que fossem as origens das imagens digitais, sendo recomendado, principalmente, por sua *interface* amigável e por ser de aprendizado rápido, fácil e intuitivo. Acredita-se, contudo, que as técnicas aqui descritas podem ser adaptadas para execução em outros *software* de SIG, como, por exemplo, para o SPRING (v. item 3.2), que é um *software* de domínio público e agrega, no mesmo programa, capacidades de processamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas.

Uma das desvantagens apresentada pela medição em meio digital é o tempo despendido na vetorização dos anéis, embora a experiência do analista seja um fator a ser levado em consideração. Torna-se oportuno, em investigações futuras, analisar mais detalhadamente a medição dos incrementos radiais para a obtenção de áreas transversais, segundo a metodologia aplicada à fatia do DAP na ANATRO completa (v. item 4.4).

Considera-se que o *software* Dendroscan, embora tenha sido o método mais acurado, não apresenta ganhos significativos em relação à medição manual na obtenção de áreas transversais para ANATRO, principalmente porque a sua utilização não elimina a fase de transporte e preparação das fatias, antes que seja efetuada a medição propriamente dita. Além disso, a necessidade de manipulação mais intensa das imagens digitais, como as operações de recorte, rotação e marcação de raios digitais, tornam seu uso mais restrito. Deve-se ressaltar que o *software* foi avaliado somente em relação aos objetivos contemplados na pesquisa e não quanto a seu desempenho em aplicações de dendrocronologia ou tecnologia da madeira, para os quais foi especificamente projetado.

A diferença percentual entre áreas estimadas usando fotos digitais e *slides* e áreas “reais” deve-se, em grande parte, à condição verde e, portanto, úmida, da fatia

fotografada ainda no campo. No entanto, os resultados obtidos se referem a diâmetros, áreas transversais e volumes “verdes” que são efetivamente encontrados quando por ocasião da medição de árvores na floresta e refletem, portanto, situações mais próximas da realidade.

Os resultados insatisfatórios obtidos com a utilização de *slides* indicam que a aplicabilidade deste método na medição digital de anéis de crescimento depende de alguns fatores, tais como a existência de profissionais com razoável conhecimento em técnicas fotográficas e equipamento adequado (câmera, filme) para obtenção de imagens suficientemente nítidas, além da disponibilidade de um serviço especializado de escanização de *slides*.

A utilização da câmera digital foi, certamente, o objeto de maior interesse nesta pesquisa, primeiramente por representar um avanço tecnológico importante na aquisição de imagens das fatias e, em segundo lugar, por refletir uma tendência mundial em termos de tratamento digital da informação. As restrições quanto ao custo desse equipamento sofisticado tendem a desaparecer com a sua gradativa popularização no mercado. A praticidade de uso e a facilidade no manuseio – observadas tanto para a tomada das fotos como na transferência dos arquivos para o computador – fizeram com que se considerasse a câmera digital um instrumento adequado e eficaz para a coleta de dados em ANATRO.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas análises efetuadas pôde-se estabelecer as seguintes conclusões:

- a) a metodologia proposta para a medição de anéis de crescimento na análise de tronco, empregando técnicas fotográficas associadas a processamento digital de imagens, mostrou-se exequível, eficaz e aplicável, do ponto de vista prático;
- b) os *software* Adobe Photoshop e Microsoft PhotoEditor – usados nas operações de realce de imagens – permitiram a execução desses procedimentos de forma rápida e interativa;
- c) mesmo sendo processadas digitalmente, as imagens escanerizadas dos *slides* obtidos com câmera 35 mm convencional foram menos nítidas que as fotos digitais, principalmente nas regiões próximas à casca, onde os anéis são mais finos; nos *slides* puderam ser discriminados, em média, cerca de 87% dos anéis existentes na fatia, enquanto que nas fotos digitais esse número subiu para 92,5%;
- d) o *software* ArcView (ESRI), representando, nesta pesquisa, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), mostrou-se bastante adequado em todas as etapas do processamento das áreas transversais, quaisquer que fossem as origens das imagens digitais;
- e) o *software* DendroScan foi considerado eficaz na delimitação e medição de anéis de crescimento em meio digital, ressaltando-se, porém, a necessidade de procedimentos de edição, uma vez que o sistema invariavelmente determina um número de anéis muito superior ao real;
- f) a obtenção de áreas transversais para a ANATRO completa de uma árvore de *Pinus elliottii* com 17 anos foi efetuada com sucesso em ambiente de geoprocessamento e representa uma alternativa viável em substituição aos procedimentos tradicionais;

- g) não foram detectadas diferenças significativas nas alturas totais a cada idade estimadas a partir de dados de ANATRO completa em meio digital e por medição manual; os volumes, no entanto, diferiram estatisticamente entre si a um nível de significância $\alpha = 0,05$, sendo que a diferença média percentual absoluta foi igual a 7%;
- h) o estado verde ou seco da fatia foi a característica determinante na formação de dois grandes grupos (“*slide-digital*” e “*manual-DendroScan-scanner*”) quando da análise de *clustering* efetuada sobre as séries de dados contendo áreas transversais “reais” e estimadas pelos quatro métodos propostos;
- i) em todas as comparações efetuadas, as estimativas obtidas usando o DendroScan foram as que se revelaram mais acuradas, com diferenças médias percentuais absolutas inferiores a 1,5% em relação às áreas “reais”; o segundo melhor método, em termos de acuracidade, foi a medição manual, com erros médios iguais a 2,29%, seguido pelas fotografias digitais (4,23%) e pelos *slides* escaneizados (4,74%);
- j) a diferença percentual entre áreas estimadas usando fotos digitais e *slides* e áreas “reais” deveu-se, em grande parte, ao estado verde e, portanto, úmido, da fatia fotografada ainda no campo;
- k) a investigação dos parâmetros de forma do anel demonstrou que, para a espécie, para a idade e para as condições estudadas, não ocorreram seções transversais ovais e tampouco seções pronunciadamente excêntricas; os valores mínimos encontrados para a ovalidade foram iguais a 0,80 e, para a excentricidade, 0,53;
- l) a análise dos fatores considerados no estudo permitiu concluir que existe interação significativa entre o método de medição utilizado e a classe de diâmetro e de excentricidade a que o anel pertence, em um ou mais níveis de cada fator; as interações refletiram diferenças na magnitude da resposta, porém não nas tendências;

- m) para os métodos fotográficos (*slide* e digital) observou-se o aumento dos erros com o aumento da excentricidade;
- n) para todos os métodos, indistintamente, os maiores erros relativos ocorreram nas menores classes de diâmetro;
- o) os métodos DendroScan e manual foram os mais acurados em todas as combinações de níveis e fatores, sendo que as diferenças médias percentuais absolutas nas estimativas de áreas transversais variaram de 0,8% a 7%;
- p) para anéis com medula centrada e diâmetros menores que 2,4 cm ou maiores que 16 cm, não se detectaram diferenças estatísticas nas estimativas de áreas empregando qualquer um dos métodos considerados neste estudo;
- q) o procedimento de medição de anéis de crescimento em meio digital, considerado no seu todo, representa um avanço em termos da integração e adaptação das geotecnologias já implementadas nas empresas florestais às atividades tradicionais desenvolvidas pela dendrometria.

5.2 RECOMENDAÇÕES

No que se refere às metodologias propostas nesta pesquisa, cabem as seguintes recomendações:

- a) utilizar câmeras com foco automático e tripé para fixação com a finalidade de minimizar os erros por parte do operador do equipamento;
- b) empregar câmeras digitais com resolução não inferior a 3 *Megapixel*;
- c) escanizar *slides* e fatias originais a resoluções não inferiores a 300 dpi;
- d) elaborar um programa computacional que incorpore os dados de área transversal obtidos por técnicas fotográficas e de processamento digital de imagens, de forma a estabelecer um sistema completo para a execução da ANATRO digital;

- e) investigar a possibilidade de aplicação das mesmas técnicas a outras espécies, num processo de validação da metodologia;
- f) adaptar os procedimentos para a medição de anéis de crescimento desenvolvidos neste estudo a outros *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs);
- g) efetuar estudos adicionais sobre a vetorização de incrementos radiais como alternativa à completa delimitação do anel, considerando que esse procedimento pode representar um ganho de tempo na obtenção de áreas transversais em meio digital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, C.; WALTER, F. Classification of compression wood using digital image analysis. **Forest Products Journal**, Madison, v. 45, n. 11/12, p. 87-92, 1995.
- ANDRADE, J. B. de. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258 p.
- ANDRADE, R. do R. de. **Mensurações dendrométricas com câmeras digitais calibradas**. Curitiba, 2001. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1992. 472 p.
- BAILEY, R. L. et al. Stand structure and yield of site-prepared slash pine plantations. Athens: The University of Georgia College of Agriculture Experiment Stations, 1982. 83 p. (Research Bulletin, 291).
- BAILEY, R. L. et al. Stand structure and yields for site-prepared loblolly pine plantations in the piedmont and upper coastal plain of Alabama, Georgia and South Carolina. Athens: The University of Georgia, College of Agriculture Experiment Stations, 1985. 118 p. (Research Bulletin, 328).
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p.
- BARUSSO, A. P. **Determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. Curitiba, 1977. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Não defendida.
- BIGING, G. S.; WENSEL, L. C. A photographic technique for use with stem analysis. **Forest Science**, Bethesda, v. 30, p. 715-729, 1984.
- BONINSEGNA, J. A et al. Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 2, p. 161-169, 1989.
- BUSSAB, W. de O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. de. Introdução à análise de agrupamentos. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA**, 9., 1990, São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990. 105 p.

CALDAS, L. S. et al. Measurement of leaf area with a hand-scanner linked to a microcomputer. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 17-20, 1992.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.) **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. p. 13-29.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. 2. ed. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um método para estimar índices de local utilizando a análise de tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 47-61, 1980.

CARMEAN, W. H. Site index curves for upland oaks in the Central States. **Forest Science**, Bethesda, v. 18, p.102-120, 1972.

CHATURVEDI, A. N.; KHANNA, L. S. **Forest mensuration**. Dehra Dun: International Book Distributors, 1982. 406 p.

CHYO, M.; AOKI, H.; HAGA, N. Análise de tronco de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. nativa do Parque Estadual de Campos do Jordão – SP. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p. 919-927, 1982. Edição dos Anais do Congresso Nacional sobre Essências Nativas.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 1989. 394 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG, 1993. 170 p.

DISPERATI, A. A. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba: UFPR, 1991. 290 p.

DISPERATI, A. A.; BERNARDI, D.; KNAPP, A. K. Avaliação de imagens da câmara digital 35 mm KODAK DCS 420 CIR. **Floresta**, Curitiba, v. 27, n. 1/2, p. 17-24, 2000.

DOUGLASS, A. E. Climatic cycles and tree growth: a study of the annual rings of trees in relation to climatic and solar activity. **Carnegie Institution of Washington Publication**, v. 289, n. 1, p. 1-127, 1919.

DOUGLASS, A. E. Notes on the technique of tree-ring analysis IV: practical instruments. **Tree - Ring Bulletin**, Tucson, v. 10, n. 1, p. 2-8, 1943.

DUFF, G. H.; NOLAN, N. J. Growth and morphogenesis in the canadian forest species, 11. especific increments and their relation to the quantity and activity of growth in *Pinus resinosa* Ait. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 35, p. 527-572, 1957.

DYER, M. E.; BAILEY, R. L. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. **Forest Science**, Bethesda, v. 33, p. 3-1, 1987.

ECKLUND, B. The Swedish Forest Research Institute's machines for measuring annual rings: their origin, construction and application. **Mitteilungen der Forstlichen Forschungsversuchsanstalt Schwedens**, Stokholm, v. 38, p.1-77, 1949.

ECKSTEIN, D.; OGDEN, J.; JACOBY, G. C.; ASH, J. Age and growth rate determination in tropical trees: the application of dendrochronological methods. In: BORMAN, E. H.; BERLYN, G. (Ed.). **Age and growth rates of tropical trees: new directions for research**. Yale: University School of Forestry & Environmental, 1981. p. 83-106. (Studies Bulletin, 94). Proceedings of the Workshop on Age and Growth Rate Determination for Tropical Trees, Harvard Forest, 1980.

FAYLE, D. C. F.; MACIVER, D.; BENTLEY, C. V. Computer-graphing of annual ring widths during measurement. **Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 59, p. 291-293, 1983.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e sua avaliação econômica**. Curitiba, 1991. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. do A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 30, n. 6, p. 990-997, 2000.

GILMORE, D. W.; SEYMOUR, R. S. Alternative measures of stem growth efficiency applied to *Abies balsamea* from four canopy positions in Central Maine, USA. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 84, n. 1-3, p. 209-218, 1996.

GOELZ, J. C. G.; BURK, T. E. Testing a photographic method for measuring stem cross-sections. **Forest Science**, Bethesda, v. 33, n. 3, p. 784-789, 1987.

GOMEL, D.; CAMPOS, R. F. **Da praça ao bureau: definição dos caminhos na rede de elementos histórico-culturais com auxílio do SIG**. Projeto de conclusão do Curso de Especialização em Geoprocessamento, CIEG. Universidade Federal do Paraná. 1993. Não publicado.

GRAHAM, R. T. **Measuring annual growth rings using an electronic measuring machine**. [S.l.]: USDA. Forest Service, 1980. 13 p. (USDA. For. Serv. Res. Note INT-289).

GRAVES, H. S. **Forest mensuration**. New York: J. Wiley and Sons, 1906. 458 p.

GRISSINO-MEYER, H. **The Tree ring web pages**. Disponível em: <<http://www.ltrr.arizona.edu/~grissino/henri.htm>>. Acesso em: out 1999.

HERMAN, F. R.; DEMARS, D. J.; WOOLLARD, R. F. **Field and computer techniques for stem analysis of coniferous forest trees**. USDA. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1975. 51 p. (Research Paper PNW-194).

HILF, R. B.; SCHMEEL, H. Die Photographie im Dienste der Zuwachsmessung. **Forstarchiv**, Hannover, n. 6, p. 114-116, 1930.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: Ronald Press Co., 1982. 410 p.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 1984. 260 p.

JAGELS, R.; TELEWSKI, F. W. Computer-aided image analysis of tree rings. In: COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 1989, p. 76-93.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 318 p.

JOHANN, K. Eine neue Jahrringmeßanlage für Bohrkerne und Stammscheiben. **Forstarchiv**, Hannover, n. 10, p. 204-206, 1977.

JONSSON, L. **Recording annual ring development using image analysis**. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, 1992. (Rapport, 228). Resumo.

JORDAN, G.; BALLANCE, R. H. A Microcomputer-based Annual Ring Measurement System. **Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 59, p. 21-25, 1983.

KIRK, R. E. **Experimental design: procedures for the behavioral sciences**. Monterey: Brooks, 1982. 911 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 1979. 811 p.

LENHART, D. J. An alternative procedure for improving height/age data from stem analysis. **Forest Science**, Bethesda, v. 18, p. 332-332. 1972.

LIER, Q. de J. van; SPAROVEK, G.; VASQUES FILHO, J. Análise de imagens utilizando um "scanner" manual: aplicações em agronomia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 479-482, 1993.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. Crawfordsville: J. Wiley and Sons, 1994. 750 p.

LINDOW, S. E.; WEBB, R. R. Quantification of foliar plant disease symptoms by microcomputer-digitized video image analysis. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, n. 4, p. 520-524, 1983.

LINHARES, C. de A.; PONZONI, F.J.; ALVES, D.S. Classificação digital de imagens orbitais para mapeamento da vegetação e do uso da terra: possibilidades e limitações. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9; REUNION PLENARIA SELPER – CAPITULO ARGENTINA, 19., 2000, Puerto Iguazú. **Programa y resúmenes**. Luján: Universidad Nacional de Luján, 2000. p. 224-224.

LITTLE, T. M.; HILLS, F. J. **Agricultural experimentation**. New York: J. Wiley & Sons, 1978. 350 p.

LIU, C. J. On single tree height increment with spline approximation. In: SCHMID-HASS; P.; JOHANN, K. (Ed.). **Growth of Single Tree Development of Stands**: proceedings of Meeting of the IUFRO Working Parties 4.01-02 & 4.02-03. Vienna:[IUFRO], 1979. p. 161-171.

LIU, C. J. Tree ring scanner: an automatic tree-ring-measuring machine. In: SOLOMON, D. S.; BRANN, T. B. (Ed.). **Environmental Influences on Tree and Stand Increment**: proceedings of the IUFRO Conference S4:01-00 and S4:01-06. Maine: Maine-Agricultural-Experimental-Station, 1985. p. 129-132. (Miscellaneous Publication, 691).

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981. 450 p.

MACHADO, S. A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* plantations in the State of Paraná - Brazil**. Seattle, 1978. 170 f. Thesis (Ph.D) - University of Washington.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. 411 p.

MAZA, J. E. de la; PORTOGHESI, L. **Bases do manejo florestal**. Maputo: FAO, 1991. 92 p. (FAO. Documento Didactico, 2).

McMILLIN, C. W. Application of automatic image analysis to wood science. **Wood Science**, Madison, v. 14, n. 3, p. 97-105, 1982.

MENCONI, D. Sem filme. **Isto É**, Cajamar, n. 1627, p. 90, 2000.

MITISHITA, E. **Monorrestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica CAD, para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba, 1997. 253 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MOON, P. O jogo das memórias. **Isto É**, Cajamar, n. 1581. p. 72-73, 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

MÜLLER, G. Untersuchungen über die Querschnittsformen der Baumschäfte. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, Hamburg, n.77, p. 374-381, 1958.

NAGEL, J.; ATHARI, S. Stammanalyse und ihre Durchführung. **Allgemeine Forst- und Jagdzeitung**, Frankfurt am Main, v. 153, n. 9/10, p. 179-182, 1982.

NEWBERRY, J. D. **Dominant height growth models and site index curves for site-prepared slash pine plantations in the lower coastal plain of Georgia and North Florida**. Athens, 1978. 47 f. Thesis (M.Sc.) – University of Georgia.

NOGUEIRA, A. C. **Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. em florestas naturais que sofreram corte seletivo**. Curitiba, 1989. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto**. Princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

PILCHER, J. R. Sample preparation, cross-dating and measurement. In: COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 41-51.

PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt am Main: J. D. Sauerlanders Verlag, 1965. 644 p.

REINECKE, L. H. The determination of tree volume by planimeter. **Journal of Forestry**, Washington, v. 24, p. 183-189, 1926.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital images analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.

RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Anatomia da madeira**. 2. ed. Curitiba: UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, 1978. 76 p. Não publicado.

RIGOZO, N. R.; NORDEMANN, D. J. R. **Tree-ring image interactive treatment**. São José dos Campos: [s.n.], 2000. Não publicado.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 1995. 117 p.

ROSOT, M. A. D.; DISPERATI, A. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. F. Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 79-88, 2001a.

ROSOT, M. A. D.; DISPERATI, A. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. F. Medição de áreas transversais em análise de tronco através de técnicas de análise de imagem: uma simulação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 231-239, 2001b.

ROSOT, M. A. D.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DISPERATI, A. A. Medição de anéis de crescimento através de técnicas de análise de imagem. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 4., 2000, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: FUPEF, 2000. p. 197-198.

ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D. B.; ROSOT, M. A. D. Yield table for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. plantations by stem analysis in Southern Brazil. In: VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P.; GERTNER, G. Z. (Ed.). **Growth and yield estimation from sucessive forest inventories: proceedings from The IUFRO Conference...** Lyngby: Danish Forest and Landscape Research Institute, 1993. p. 239-249. (Forkningsserien, 3).

ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D.B.; ROSOT, M.A.D. Tabela de produção para povoamentos de *Pinus patula* através de análise de tronco para a Região de Manica - Moçambique. **Floresta**, Curitiba, v. 22, n. 1-2, p. 3-12, 1995.

SABINS, F. F. **Remote sensing: principles and interpretation**. São Francisco: W. H Freeman, 1997. p.

SANO, E. E. et al. Estimativa de erros cometidos pelo sistema de informações geográficas SGI na medida de áreas de polígonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1993. p. 105-120.

SANO, E. E. et al. Uso do SPRING na identificação e quantificação de fraudes em café torrado e moído. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9; REUNION PLENARIA SELPER – CAPITULO ARGENTINA, 19., 2000, Puerto Iguazú. **Programa y resúmenes**. Luján: Universidad Nacional de Luján, 2000. p. 249-249.

SCHAITZA, E; MATTOS, P. P; PEREIRA, J. C. D. Metodologías sencillas y baratas para análisis de imagen en laboratorios de calidad de la madera. In: CONGRESO

LATINOAMERICANO IUFRO, 1., 1998, Valdivia, Chile. **El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XXI: actas.** [s.l.]: CONAF, 1998. 1 CD ROM.

SCHLESSELMAN, J. T. The fundamentals of photography. In: ANNUAL MEETING OF THE WESTERN SOCIETY OF WEED SCIENCE, 50., 1997. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997. v. 50, p. 87-90.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Trees and wood in dendrochronology.** Berlin: Springer Verlag, 1993. 402 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** Curitiba, 1990. 290 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná..

SENAGRO SENSORIAMENTO REMOTO. **Curso básico de ARCVIEW 3.1 e 3.2A.** Curitiba, 2002. Apostila de treinamento.

SHEA, S. R.; ARMSON, K. A. Stem analysis of jack pine (*Pinus Banksiana* Lamb.): techniques and concepts. **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 2, p. 392-406. 1972.

SILVA, J. de C. Qualidade da madeira serrada de eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 50, p. 44-46, 2000.

SIOSTRZONEK, E. Radialzuwachs und Flächenzuwachs. Genauere Bestimmung des Grundflächenzuwachses mit Bohrspänen und Stammscheiben. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, Hamburg, v. 77, p. 237-254, 1958.

SMALTSCHINSKI, T. Fehler bei Stammscheiben- und Bohrspananalysen. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, Hamburg, v. 105, p. 163-171, 1986.

SPIECKER, H. **Análise do crescimento florestal: concorrência e sua importância no desbaste.** Curitiba: FUPEF, 1981. 62 p.

SPRING Versão 3.0 (Windows e UNIX). São José dos Campos: NETGIS Geoprocessamento e Informática, 1998a. v. 1: Definição e edição de mapas.

SPRING Versão 3.0 (Windows e UNIX). São José dos Campos: NETGIS Geoprocessamento e Informática, 1998b. v. 2: Processamento de imagens.

STATISTICA for Windows. 2. ed. Tulsa: Statsoft, 1995. v. 3: Statistics II.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics.** New York: McGraw-Hill, 1960. p.

STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. **An introduction to tree-ring dating**. Chicago: The University of Chicago Press, 1968. 73 p.

TASSISSA, G.; BURKHART, H. E. Modeling thinning effects on ring width distribution in loblolly pine (*Pinus taeda*). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 27, p. 1291-1301, 1997.

THETFORD, R. D.; D'ARRIGO, R. D.; JACOBY, G. C. An image analysis system for determining densitometric and ring-width time series. **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 21, p. 1544-1549, 1991.

THIES, W. G.; HARVEY JUNIOR, R. D. A photographic method for measuring tree defect. **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 9, n. 4, p. 541-543, 1979.

TISCHENDORF, W. Über Gesetzmäßigkeit und Ursache der Exzentrizität von Baumquerflächen. **Centralblatt für das gesamte Forstwesen**, Wien, n. 2, p. 33-54, 1943.

TUCKER, C. C.; CHAKRABORTY, S. Quantitative assessment of lesion characteristics and disease severity using digital image processing. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 145, p. 273-278, 1997.

TURNBULL, K. J. **Stem analysis techniques and applications and some studies of second growth Douglas-fir in Western Washington**. Seattle, 1958. 128 f. Thesis (M.Sc.) - University of Washington.

VAREM-SANDERS, T M. L.; CAMPBELL, I. D. **DendroScan: a tree-ring width and density measurement system**. Edmonton: Natural Resources Canada, 1996. 131 p. (Special Report, 10).

VENTURI, N. L. GIS aplicado na área florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 4., 2000, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: FUPEF, 2000. p. 143-157.

VETTER, R. E. **Untersuchungen über Zuwachsrhythmen an tropischen Bäumen in Amazonien**. Freiburg, 1995. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Albert-Ludwigs.

VIDA digital. **Veja**, São Paulo, n. 1645, p. 118, abr. 2000.

WEISE, U. **Breitäge zur Methodik und Genauigkeit von Stammscheiben-, Bohrkern- und Stammanalysen an Fichte und Tanne**. Freiburg: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, 1987. 133 p. (Mitteilungen, 130).

WERKEMA, M. C. C. **Como estabelecer conclusões com confiança: entendendo inferência estatística**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996. 279 p.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Análise de regressão**: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996. 311 p.

WILCKEN, C. F. et al. Técnica de medição de área foliar consumida por insetos através de digitalizador de imagens. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 218-221, 1998.

YANOSKY, T. M.; ROBINOVE, C. J. Digital image measurement of the area and anatomical structure of tree rings. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 64, p. 2896-2902, 1986.

ZIMMERLE, H. Zuwachsuntersuchungen bei der Fichte und Tanne im württ. Forstbezirk Pfalzgrafenweiler. **Allgemeine Forst- und Jagdzeitung**, Frankfurt am Main, v. 118, p. 32-105, 1942.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. van. **Wood variation**: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

APÊNDICES

1	FICHA-MODELO PARA COLETA DE FATIAS PARA ANATRO EM CAMPO .	165
2	FICHA-MODELO PARA MEDIÇÃO MANUAL DE RAIOS	167
3	NÚMERO DE ANÉIS VISÍVEIS NAS IMAGENS DE <i>SLIDES</i> E FOTOS DIGITAIS EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ANÉIS DAS FATIAS ORIGINAIS	169
4	ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E RESPECTIVOS VALORES PARA OS PARÂMETROS OVALIDADE E EXCENTRICIDADE	171
5	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA CONSIDERANDO O EFEITO PRINCIPAL MÉTODO (M)	177
6	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA CONSIDERANDO O EFEITO PRINCIPAL CLASSE DE DIÂMETRO (D)	179
7	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA CONSIDERANDO O EFEITO PRINCIPAL CLASSE DE EXCENTRICIDADE (E)	181
8	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO	183
9	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE	186
10	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE	188
11	NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE	190
12	ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" E ESTIMADAS PELOS QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS	200

APÊNDICE 1 - FICHA-MODELO PARA COLETA DE FATIAS PARA ANATRO EM CAMPO

APÊNDICE 1 - FICHA-MODELO PARA COLETA DE FATIAS PARA ANATRO EM CAMPO

FICHA PARA COLETA DE ÁRVORE PARA ANATRO

DATA :	LOCAL :
ESPÉCIE :	IDADE DO POVOAMENTO :
ÁRVORE Nº. :	CAP (cm) : h total (m) :
REGISTRADO POR :	

[illegible]

APÊNDICE 2 - FICHA-MODELO PARA MEDIÇÃO MANUAL DE RAIOS

APÊNDICE 2 - FICHA-MODELO PARA MEDIÇÃO MANUAL DE RAIOS

FICHA PARA MEDIÇÃO DE RAIOS	
Data :	Origem da árvore :
Espécie :	Número de anéis :
Árvore nº. :	Seção :

[illegible]

APÊNDICE 3 – NÚMERO DE ANÉIS VISÍVEIS NAS IMAGENS DE *SLIDES* E FOTOS DIGITAIS EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ANÉIS DAS FATIAS ORIGINAIS

APÊNDICE 3 – NÚMERO DE ANÉIS VISÍVEIS NAS IMAGENS DE *SLIDES* E FOTOS DIGITAIS EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE ANÉIS DAS FATIAS ORIGINAIS

NUM. DA FATIA	NÚMERO DE ANEIS VISÍVEIS				
	FATIA ORIGINAL	<i>SLIDE</i>		DIGITAL	
		absol.	relat.	absol.	relat.
P1--A1-4	5	5	100,0	5	100,0
P1-A2-3	13	13	100,0	13	100,0
P1-A2-4	6	6	100,0	6	100,0
P1-A3-3	9	9	100,0	9	100,0
P1--A3-4	4	4	100,0	4	100,0
P2--A4-4	3	3	100,0	3	100,0
P2--A5-2	16	16	100,0	16	100,0
P2--A5-3	9	9	100,0	9	100,0
P2--A5-4	4	4	100,0	4	100,0
P2--A7-3	9	9	100,0	9	100,0
P2--A7-4	3	3	100,0	3	100,0
P2-A8-1	15	7	46,7	9	60,0
P2-A8-3	11	10	90,9	10	90,9
P2-A9-2	9	7	77,8	8	88,9
P2-A9-3	9	8	88,9	8	88,9
P2-A10-2	16	15	93,8	16	100,0
P2-A10-3	10	9	90,0	10	100,0
P2-A11-3	10	10	100,0	10	100,0
P2-A12-3	11	5	45,5	7	63,6
P2-A13-1	9	9	100,0	9	100,0
P2-A13-2	9	7	77,8	8	88,9
P2-A14-1	16	8	50,0	9	56,3
P2-A14-2	11	8	72,7	9	81,8
P2-A14-3	8	5	62,5	8	100,0
P2-A15-2	13	7	53,8	11	84,6
P2-A15-3	7	6	85,7	7	100,0
P2-A16-3	10	9	90,0	9	90,0
P2-A16-4	5	5	100,0	5	100,0
P2-A17-3	8	7	87,5	7	87,5
TOTAL DE ANÉIS	268	MÉDIA	86,7		92,5

**APÊNDICE 4 - ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E
RESPECTIVOS VALORES PARA OS PARÂMETROS OVALIDADE E
EXCENTRICIDADE**

**APÊNDICE 4 - ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE
CRESCIMENTO E RESPECTIVOS VALORES PARA OS
PARÂMETROS OVALIDADE E EXCENTRICIDADE**

continua

COD.	ANEL	ANO	ÁREA TRANSVERSAL	OVALIDADE	EXCENTRICIDADE
FATIA	NR.	CALENDÁRIO	cm²	d/D	r/R
P1--A1-4	1	2001	128,3062	0,94	0,84
P1--A1-4	2	2000	94,0942	0,96	0,86
P1--A1-4	3	1999	59,1834	0,96	0,86
P1--A1-4	4	1998	29,2513	0,98	0,90
P1--A1-4	5	1997	9,9765	0,98	0,95
P1-A2-3	1	2001	277,3321	0,96	0,92
P1-A2-3	2	2000	255,0621	0,96	0,92
P1-A2-3	3	1999	231,1940	0,94	0,91
P1-A2-3	4	1998	207,0289	0,95	0,93
P1-A2-3	5	1997	187,9955	0,95	0,91
P1-A2-3	6	1996	161,1328	0,94	0,91
P1-A2-3	7	1995	134,4559	0,94	0,90
P1-A2-3	8	1994	108,7733	0,95	0,92
P1-A2-3	9	1993	79,1027	0,96	0,94
P1-A2-3	10	1992	51,1803	0,96	0,92
P1-A2-3	11	1991	30,3360	0,96	0,91
P1-A2-3	12	1990	12,1369	0,98	0,94
P1-A2-3	13	1989	2,0230	0,98	0,93
P1-A2-4	1	2001	100,7582	0,96	0,83
P1-A2-4	2	2000	77,7974	0,96	0,84
P1-A2-4	3	1999	53,1660	0,97	0,88
P1-A2-4	4	1998	30,5595	0,99	0,89
P1-A2-4	5	1997	15,7325	0,99	0,84
P1-A2-4	6	1996	5,3802	0,99	0,85
P1-A3-3	1	2001	255,5023	0,94	0,86
P1-A3-3	2	2000	239,7335	0,94	0,86
P1-A3-3	3	1999	196,7763	0,95	0,89
P1-A3-3	4	1998	155,1542	0,95	0,90
P1-A3-3	5	1997	123,3521	0,94	0,91
P1-A3-3	6	1996	88,7436	0,94	0,92
P1-A3-3	7	1995	55,3344	0,95	0,94
P1-A3-3	8	1994	27,0416	0,96	0,93
P1-A3-3	9	1993	7,7561	0,96	0,93
P1--A3-4	1	2001	59,8639	0,93	0,76
P1--A3-4	2	2000	52,4405	0,95	0,80
P1--A3-4	3	1999	26,4154	0,97	0,73
P1--A3-4	4	1998	9,3022	0,97	0,77
P2--A4-4	1	2001	46,6138	0,94	0,81
P2--A4-4	2	2000	21,9348	0,97	0,87
P2--A4-4	3	1999	7,6629	0,98	0,85
P2--A5-2	1	2001	281,2069	0,91	0,77
P2--A5-2	2	2000	254,2206	0,90	0,77
P2--A5-2	3	1999	232,6969	0,90	0,76
P2--A5-2	4	1998	216,4971	0,90	0,75

**APÊNDICE 4 - ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE
CRESCIMENTO E RESPECTIVOS VALORES PARA OS
PARÂMETROS OVALIDADE E EXCENTRICIDADE**

continuação

COD.	ANEL	ANO	ÁREA TRANSVERSAL	OVALIDADE	EXCENTRICIDADE
FATIA	NR.	CALENDÁRIO	cm²	d/D	r/R
P2--A5-2	5	1997	207,9656	0,91	0,76
P2--A5-2	6	1996	198,6368	0,91	0,76
P2--A5-2	7	1995	189,2700	0,92	0,76
P2--A5-2	8	1994	178,4576	0,92	0,77
P2--A5-2	9	1993	164,2613	0,93	0,78
P2--A5-2	10	1992	147,1499	0,92	0,80
P2--A5-2	11	1991	126,4358	0,92	0,80
P2--A5-2	12	1990	100,2326	0,92	0,78
P2--A5-2	13	1989	67,9671	0,95	0,82
P2--A5-2	14	1988	40,3710	0,95	0,83
P2--A5-2	15	1987	17,3000	0,98	0,91
P2--A5-2	16	1986	2,7475	0,97	0,87
P2--A5-3	1	2001	182,3957	0,98	0,81
P2--A5-3	2	2000	156,1148	0,97	0,84
P2--A5-3	3	1999	126,7353	0,97	0,87
P2--A5-3	4	1998	99,3703	0,97	0,90
P2--A5-3	5	1997	80,5960	0,97	0,93
P2--A5-3	6	1996	58,8041	0,97	0,93
P2--A5-3	7	1995	37,1197	0,98	0,95
P2--A5-3	8	1994	19,3827	0,97	0,93
P2--A5-3	9	1993	4,9235	0,98	0,96
P2--A5-4	1	2001	40,4667	0,95	0,92
P2--A5-4	2	2000	25,3307	0,96	0,92
P2--A5-4	3	1999	12,2311	0,95	0,93
P2--A5-4	4	1998	3,6615	0,97	0,96
P2--A7-3	1	2001	246,2632	0,98	0,91
P2--A7-3	2	2000	204,7124	0,98	0,89
P2--A7-3	3	1999	161,8190	0,97	0,88
P2--A7-3	4	1998	119,0246	0,98	0,88
P2--A7-3	5	1997	88,2135	0,97	0,91
P2--A7-3	6	1996	58,3999	0,96	0,89
P2--A7-3	7	1995	32,8025	0,96	0,86
P2--A7-3	8	1994	14,8857	0,96	0,88
P2--A7-3	9	1993	3,1285	0,95	0,93
P2--A7-4	1	2001	37,4923	0,93	0,91
P2--A7-4	2	2000	18,0582	0,97	0,91
P2--A7-4	3	1999	5,7495	0,97	0,92
P2-A8-1	1	2001	145,6761	0,95	0,71
P2-A8-1	2	2000	119,5844	0,95	0,69
P2-A8-1	3	1999	85,4319	0,95	0,69
P2-A8-1	4	1998	57,6245	0,95	0,68
P2-A8-1	5	1997	34,0377	0,96	0,71
P2-A8-1	6	1996	13,9534	0,93	0,68
P2-A8-1	7	1995	3,1232	0,96	0,85

APÊNDICE 4 - ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E RESPECTIVOS VALORES PARA OS PARÂMETROS OVALIDADE E EXCENTRICIDADE

continuação

COD.	ANEL	ANO	ÁREA TRANSVERSAL	OVALIDADE	EXCENTRICIDADE
FATIA	NR.	CALENDÁRIO	cm²	d/D	r/R
P2-A8-3	1	2001	82,5979	0,94	0,76
P2-A8-3	2	2000	72,7134	0,94	0,77
P2-A8-3	3	1999	63,3485	0,96	0,78
P2-A8-3	4	1998	56,9953	0,97	0,79
P2-A8-3	5	1997	46,9180	0,99	0,85
P2-A8-3	6	1996	34,6152	0,99	0,90
P2-A8-3	7	1995	22,5940	0,98	0,88
P2-A8-3	8	1994	10,1662	0,99	0,91
P2-A8-3	9	1993	2,8155	0,98	0,95
P2-A8-3	10	1992	1,1026	0,95	0,89
P2-A9-2	1	2001	114,1872	0,94	0,82
P2-A9-2	2	2000	104,7084	0,94	0,81
P2-A9-2	3	1999	86,4227	0,93	0,81
P2-A9-2	4	1998	63,4900	0,94	0,77
P2-A9-2	5	1997	38,8503	0,96	0,81
P2-A9-2	6	1996	17,1201	0,94	0,85
P2-A9-2	7	1995	3,7229	0,98	0,91
P2-A9-3	1	2001	60,8815	0,94	0,83
P2-A9-3	2	2000	54,5073	0,95	0,83
P2-A9-3	3	1999	43,7100	0,94	0,82
P2-A9-3	4	1998	35,5124	0,94	0,85
P2-A9-3	5	1997	25,0772	0,96	0,88
P2-A9-3	6	1996	12,1434	0,98	0,88
P2-A9-3	7	1995	3,7670	0,97	0,90
P2-A9-3	8	1994	1,0479	0,95	0,90
P2-A10-2	1	2001	184,7583	0,88	0,56
P2-A10-2	2	2000	176,9505	0,88	0,56
P2-A10-2	3	1999	169,9347	0,89	0,56
P2-A10-2	4	1998	160,3111	0,89	0,57
P2-A10-2	5	1997	152,6756	0,89	0,57
P2-A10-2	6	1996	143,5369	0,88	0,55
P2-A10-2	7	1995	134,2921	0,88	0,56
P2-A10-2	8	1994	123,1944	0,88	0,56
P2-A10-2	9	1993	107,4524	0,89	0,58
P2-A10-2	10	1992	90,4216	0,90	0,60
P2-A10-2	11	1991	76,2492	0,90	0,61
P2-A10-2	12	1990	57,2205	0,92	0,64
P2-A10-2	13	1989	33,6473	0,89	0,65
P2-A10-2	14	1988	16,0029	0,93	0,77
P2-A10-2	15	1987	4,7060	0,98	0,76
P2-A10-3	1	2001	120,8181	0,98	0,83
P2-A10-3	2	2000	111,5915	0,98	0,84
P2-A10-3	3	1999	96,6358	0,96	0,81
P2-A10-3	4	1998	81,2222	0,96	0,83
P2-A10-3	5	1997	67,3659	0,96	0,81

APÊNDICE 4 - ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E RESPECTIVOS VALORES PARA OS PARÂMETROS OVALIDADE E EXCENTRICIDADE

continuação

COD.	ANEL	ANO	ÁREA TRANSVERSAL	OVALIDADE	EXCENTRICIDADE
FATIA	NR.	CALENDÁRIO	cm²	d/D	r/R
P2-A10-3	6	1996	49,7945	0,96	0,83
P2-A10-3	7	1995	29,9024	0,96	0,84
P2-A10-3	8	1994	15,3453	0,98	0,86
P2-A10-3	9	1993	2,9618	0,98	0,86
P2-A11-3	1	2001	104,4535	0,90	0,80
P2-A11-3	2	2000	98,1169	0,89	0,80
P2-A11-3	3	1999	87,8588	0,90	0,80
P2-A11-3	4	1998	73,3362	0,90	0,82
P2-A11-3	5	1997	58,6958	0,91	0,86
P2-A11-3	6	1996	47,1467	0,93	0,89
P2-A11-3	7	1995	33,4461	0,96	0,91
P2-A11-3	8	1994	21,9591	0,95	0,89
P2-A11-3	9	1993	9,2981	0,95	0,91
P2-A11-3	10	1992	3,1189	0,96	0,89
P2-A12-3	1	2001	44,1204	0,91	0,80
P2-A12-3	2	2000	34,8621	0,92	0,83
P2-A12-3	3	1999	22,3062	0,93	0,84
P2-A12-3	4	1998	7,6800	0,95	0,93
P2-A12-3	5	1997	1,3111	1,00	1,00
P2-A13-1	1	2001	302,6768	0,90	0,56
P2-A13-1	2	2000	289,6020	0,90	0,56
P2-A13-1	3	1999	265,8338	0,91	0,57
P2-A13-1	4	1998	238,1450	0,90	0,56
P2-A13-1	5	1997	179,1380	0,91	0,54
P2-A13-1	6	1996	118,4969	0,90	0,53
P2-A13-1	7	1995	60,5108	0,85	0,54
P2-A13-1	8	1994	22,7491	0,89	0,61
P2-A13-1	9	1993	4,0178	0,93	0,77
P2-A13-2	1	2001	183,1825	0,94	0,83
P2-A13-2	2	2000	165,2526	0,96	0,84
P2-A13-2	3	1999	142,4349	0,96	0,82
P2-A13-2	4	1998	97,6484	0,97	0,79
P2-A13-2	5	1997	57,4594	0,96	0,75
P2-A13-2	6	1996	24,2885	0,96	0,72
P2-A13-2	7	1995	4,7046	0,93	0,76
P2-A14-1	1	2001	253,7743	0,87	0,74
P2-A14-1	2	2000	222,7101	0,87	0,75
P2-A14-1	3	1999	186,7119	0,87	0,75
P2-A14-1	4	1998	132,2067	0,89	0,78
P2-A14-1	5	1997	80,5903	0,85	0,79
P2-A14-1	6	1996	39,6986	0,93	0,87
P2-A14-1	7	1995	12,4019	0,94	0,82
P2-A14-1	8	1994	1,5160	0,94	0,90
P2-A14-2	1	2001	179,4237	0,97	0,81
P2-A14-2	2	2000	165,4799	0,96	0,81

APÊNDICE 4 - ÁREAS TRANSVERSAIS "REAIS" DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E RESPECTIVOS VALORES PARA OS PARÂMETROS OVALIDADE E EXCENTRICIDADE

conclusão

COD.	ANEL	ANO	ÁREA TRANSVERSAL	OVALIDADE	EXCENTRICIDADE
FATIA	NR.	CALENDÁRIO	cm²	d/D	r/R
P2-A14-2	3	1999	144,5157	0,97	0,80
P2-A14-2	4	1998	118,0974	0,98	0,82
P2-A14-2	5	1997	80,2765	0,93	0,80
P2-A14-2	6	1996	46,1718	0,93	0,83
P2-A14-2	7	1995	16,8961	0,97	0,94
P2-A14-2	8	1994	2,3563	0,97	0,97
P2-A14-3	1	2001	68,0256	0,97	0,86
P2-A14-3	2	2000	50,6265	0,97	0,85
P2-A14-3	3	1999	30,6527	0,94	0,85
P2-A14-3	4	1998	10,8141	0,89	0,82
P2-A14-3	5	1997	1,1907	0,96	0,92
P2-A15-2	1	2001	115,0013	0,92	0,85
P2-A15-2	2	2000	103,2029	0,92	0,85
P2-A15-2	3	1999	85,2143	0,92	0,86
P2-A15-2	4	1998	58,9110	0,94	0,84
P2-A15-2	5	1997	30,5615	0,93	0,78
P2-A15-2	6	1996	6,5817	0,93	0,77
P2-A15-2	7	1995	0,7966	0,86	0,80
P2-A15-3	1	2001	61,6364	0,90	0,87
P2-A15-3	2	2000	53,7143	0,92	0,88
P2-A15-3	3	1999	42,6192	0,93	0,86
P2-A15-3	4	1998	28,4872	0,96	0,87
P2-A15-3	5	1997	12,3361	0,97	0,89
P2-A15-3	6	1996	2,5602	0,96	0,89
P2-A16-3	1	2001	63,2665	0,97	0,78
P2-A16-3	2	2000	59,2538	0,97	0,78
P2-A16-3	3	1999	52,5280	0,96	0,78
P2-A16-3	4	1998	46,6485	0,98	0,78
P2-A16-3	5	1997	41,9269	0,97	0,80
P2-A16-3	6	1996	33,2653	0,99	0,80
P2-A16-3	7	1995	22,9585	0,94	0,84
P2-A16-3	8	1994	12,9823	0,94	0,89
P2-A16-3	9	1993	4,0492	0,98	0,93
P2-A16-4	1	2001	22,8903	0,98	0,95
P2-A16-4	2	2000	16,0117	0,97	0,89
P2-A16-4	3	1999	9,5455	0,95	0,85
P2-A16-4	4	1998	4,1756	0,96	0,84
P2-A16-4	5	1997	0,7339	0,96	0,88
P2-A17-3	1	2001	68,0804	0,96	0,83
P2-A17-3	2	2000	60,3084	0,94	0,82
P2-A17-3	3	1999	46,9680	0,95	0,89
P2-A17-3	4	1998	34,5351	0,96	0,91
P2-A17-3	5	1997	18,3911	0,96	0,91
P2-A17-3	6	1996	7,8985	0,98	0,89
P2-A17-3	7	1995	1,3314	0,95	0,91

**APÊNDICE 5 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA CONSIDERANDO O EFEITO
PRINCIPAL MÉTODO (M)**

APÊNDICE 5 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA* CONSIDERANDO O EFEITO PRINCIPAL MÉTODO (M)

Tratamentos	{1}	{2}	{3}	{4}
Médias	1,463813	4,739789	4,232177	2,292923
M1 {1}		0,000008	0,000008	0,000403
M2 {2}	0,000008		0,068952	0,000008
M3 {3}	0,000008	0,068952		0,000008
M4 {4}	0,000403	0,000008	0,000008	

* níveis de significância em negrito indicam que as médias dos tratamentos são diferentes entre si

**APÊNDICE 6 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA CONSIDERANDO O EFEITO
PRINCIPAL CLASSE DE DIÂMETRO (D)**

APÊNDICE 6 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA* CONSIDERANDO O EFEITO
PRINCIPAL CLASSE DE DIÂMETRO (D)

Tratamentos	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
Médias	6,574955	3,674625	2,676983	2,687683	2,696579
D1 {1}		0,000017	0,000017	0,000017	0,000017
D2 {2}	0,000017		0,000037	0,000631	0,075595
D3 {3}	0,000017	0,000037		0,999999	0,999998
D4 {4}	0,000017	0,000631	0,999999		1,000000
D5 {5}	0,000017	0,075595	0,999998	1,000000	

* níveis de significância em negrito indicam que as médias dos tratamentos são diferentes entre si

**APÊNDICE 7 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA CONSIDERANDO O EFEITO
PRINCIPAL CLASSE DE EXCENTRICIDADE (E)**

APÊNDICE 7 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA*
CONSIDERANDO O EFEITO
PRINCIPAL CLASSE DE
EXCENRICIDADE (E)

Tratamentos	{1}	{2}	{3}
Médias	3,037980	3,313091	3,829537
E1 {1}		0,501217	0,112227
E2 {2}	0,501217		0,39246
E3 {3}	0,112227	0,39246	

* níveis de significância em negrito indicam que as médias dos tratamentos são diferentes entre si

**APÊNDICE 8 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO**

APÊNDICE 8 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO

(continua)

TRATAM.	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
M1D1{1}		0,000502	0,000990	0,000693	0,001248	0,179139	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2{2}	0,000502		1,000000	1,000000	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,000057
M1D3{3}	0,000990	1,000000		1,000000	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,000086
M1D4{4}	0,000693	1,000000	1,000000		1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,000067
M1D5{5}	0,001248	1,000000	1,000000	1,000000		0,000043	0,000043	0,000112	0,000072	0,000105
M2D1{6}	0,179139	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043		0,170243	0,025437	0,038519	0,026751
M2D2{7}	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,170243		0,996358	0,999983	1,000000
M2D3{8}	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000112	0,025437	0,996358		1,000000	1,000000
M2D4{9}	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000072	0,038519	0,999983	1,000000		1,000000
M2D5{10}	1,000000	0,000057	0,000086	0,000067	0,000105	0,026751	1,000000	1,000000	1,000000	
M3D1{11}	0,269221	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	1,000000	0,257480	0,045847	0,067293	0,048040
M3D2{12}	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000048	0,078460	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D3{13}	0,999580	0,000043	0,000043	0,000043	0,003351	0,002273	0,283381	0,992303	0,996086	0,999999
M3D4{14}	0,991171	0,000043	0,000043	0,000043	0,018756	0,000524	0,160751	0,938280	0,835510	0,999545
M3D5{15}	0,953193	0,025507	0,050249	0,035468	0,062571	0,000167	0,663815	0,990476	0,973195	0,989107
M4D1{16}	0,741293	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,999999	0,727277	0,272626	0,349850	0,281227
M4D2{17}	0,999375	0,000043	0,000043	0,000043	0,004088	0,001945	0,233946	0,993748	0,992974	0,999998
M4D3{18}	0,000208	1,000000	0,999997	1,000000	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,000045
M4D4{19}	0,000943	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,000082
M4D5{20}	0,003306	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000043	0,000046	0,000359	0,000185	0,000331

M1= DENDROSCAN / M2= SLIDE / M3= DIGITAL / M4= MANUAL

D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

APÊNDICE 8 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO

(conclusão)

TRATAM.	{11}	{12}	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}	{19}	{20}
M1D1 {1}	0,269221	1,000000	0,999580	0,991171	0,953193	0,741293	0,999375	0,000208	0,000943	0,003306
M1D2 {2}	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,025507	0,000043	0,000043	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3 {3}	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,050249	0,000043	0,000043	0,999997	1,000000	1,000000
M1D4 {4}	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,035468	0,000043	0,000043	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5 {5}	0,000043	0,000048	0,003351	0,018756	0,062571	0,000043	0,004088	1,000000	1,000000	1,000000
M2D1 {6}	1,000000	0,078460	0,002273	0,000524	0,000167	0,999999	0,001945	0,000043	0,000043	0,000043
M2D2 {7}	0,257480	1,000000	0,283381	0,160751	0,663815	0,727277	0,233946	0,000043	0,000043	0,000046
M2D3 {8}	0,045847	1,000000	0,992303	0,938280	0,990476	0,272626	0,993748	0,000043	0,000043	0,000359
M2D4 {9}	0,067293	1,000000	0,996086	0,835510	0,973195	0,349850	0,992974	0,000043	0,000043	0,000185
M2D5 {10}	0,048040	1,000000	0,999999	0,999545	0,989107	0,281227	0,999998	0,000045	0,000082	0,000331
M3D1 {11}		0,128967	0,004706	0,001131	0,000342	1,000000	0,004053	0,000043	0,000043	0,000043
M3D2 {12}	0,128967		0,765779	0,513678	0,888742	0,515395	0,706262	0,000043	0,000043	0,000072
M3D3 {13}	0,004706	0,765779		1,000000	1,000000	0,051212	1,000000	0,000043	0,000043	0,011066
M3D4 {14}	0,001131	0,513678	1,000000		1,000000	0,016130	1,000000	0,000043	0,000043	0,051980
M3D5 {15}	0,000342	0,888742	1,000000	1,000000		0,005668	1,000000	0,009368	0,047964	0,147464
M4D1 {16}	1,000000	0,515395	0,051212	0,016130	0,005668		0,045525	0,000043	0,000043	0,000043
M4D2 {17}	0,004053	0,706262	1,000000	1,000000	1,000000	0,045525		0,000043	0,000043	0,013259
M4D3 {18}	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,009368	0,000043	0,000043		1,000000	0,999999
M4D4 {19}	0,000043	0,000043	0,000043	0,000043	0,047964	0,000043	0,000043	1,000000		1,000000
M4D5 {20}	0,000043	0,000072	0,011066	0,051980	0,147464	0,000043	0,013259	0,999999	1,000000	

M1= DENDROSCAN / M2= SLIDE / M3= DIGITAL / M4= MANUAL

D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

APÊNDICE 9 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE
DE EXCENTRICIDADE

APÊNDICE 9 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

TRATAMENTOS	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
M1E1 {1}		1,000000	0,994942	0,000017	0,000017	0,000017
M1E2 {2}	1,000000		0,997690	0,000017	0,000017	0,000017
M1E3 {3}	0,994942	0,997690		0,062240	0,000033	0,000017
M2E1 {4}	0,000017	0,000017	0,062240		0,072908	0,023151
M2E2 {5}	0,000017	0,000017	0,000033	0,072908		0,924324
M2E3 {6}	0,000017	0,000017	0,000017	0,023151	0,924324	
M3E1 {7}	0,000017	0,000017	0,135619	0,999875	0,016931	0,008427
M3E2 {8}	0,000017	0,000017	0,009977	0,999303	0,504053	0,120665
M3E3 {9}	0,000024	0,000028	0,001575	0,997504	0,998737	0,343208
M4E1 {10}	0,000189	0,208901	0,999931	0,000017	0,000017	0,000017
M4E2 {11}	0,998452	0,999689	0,999998	0,000017	0,000017	0,000017
M4E3 {12}	0,999909	0,999978	1,000000	0,018018	0,000019	0,000017

TRATAMENTOS	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
M1E1 {1}	0,000017	0,000017	0,000024	0,000189	0,998452	0,999909
M1E2 {2}	0,000017	0,000017	0,000028	0,208901	0,999689	0,999978
M1E3 {3}	0,135619	0,009977	0,001575	0,999931	0,999998	1,000000
M2E1 {4}	0,999875	0,999303	0,997504	0,000017	0,000017	0,018018
M2E2 {5}	0,016931	0,504053	0,998737	0,000017	0,000017	0,000019
M2E3 {6}	0,008427	0,120665	0,343208	0,000017	0,000017	0,000017
M3E1 {7}		0,974854	0,980285	0,000018	0,000019	0,045768
M3E2 {8}	0,974854		0,999999	0,000071	0,000017	0,002222
M3E3 {9}	0,980285	0,999999		0,022599	0,000170	0,000288
M4E1 {10}	0,000018	0,000071	0,022599		0,742631	0,995653
M4E2 {11}	0,000019	0,000017	0,000170	0,742631		1,000000
M4E3 {12}	0,045768	0,002222	0,000288	0,995653	1,000000	

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL
DE EXCENTRICIDADE

E (1,2,3)= CLASSES

APÊNDICE 10 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO CLASSE DE DIÂMETRO
X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

APÊNDICE 10 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

TRATAMENTOS	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
D1E1 {1}		0,000038	0,000020	0,999229	0,000020	0,000020	0,004036
D2E2 {2}	0,000038		0,998643	0,999995	0,025718	0,895949	0,999533
D2E1 {3}	0,000020	0,998643		0,999555	0,000048	0,998838	1,000000
D2E3 {4}	0,999229	0,999995	0,999555		0,910568	0,996621	0,997967
D3E1 {5}	0,000020	0,025718	0,000048	0,910568		0,291857	0,992484
D3E2 {6}	0,000020	0,895949	0,998838	0,996621	0,291857		1,000000
D3E3 {7}	0,004036	0,999533	1,000000	0,997967	0,992484	1,000000	
D4E3 {8}	0,000037	1,000000	0,998787	0,999994	0,026734	0,900449	0,999568
D4E1 {9}	0,000020	0,002058	0,000347	0,818940	0,999193	0,020085	0,926564
D4E2 {10}	0,000020	0,245510	0,894202	0,971969	0,999868	0,998585	0,999955
D5E1 {11}	0,000020	0,004386	0,085448	0,725583	0,998831	0,343728	0,786160
D5E2 {12}	0,000029	0,994510	1,000000	0,998170	0,919343	1,000000	1,000000
D5E3 {13}	0,006779	0,999909	1,000000	0,998917	0,981737	1,000000	1,000000

TRATAMENTOS	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}
D1E1 {1}	0,000037	0,000020	0,000020	0,000020	0,000029	0,006779
D2E2 {2}	1,000000	0,002058	0,245510	0,004386	0,994510	0,999909
D2E1 {3}	0,998787	0,000347	0,894202	0,085448	1,000000	1,000000
D2E3 {4}	0,999994	0,818940	0,971969	0,725583	0,998170	0,998917
D3E1 {5}	0,026734	0,999193	0,999868	0,998831	0,919343	0,981737
D3E2 {6}	0,900449	0,020085	0,998585	0,343728	1,000000	1,000000
D3E3 {7}	0,999568	0,926564	0,999955	0,786160	1,000000	1,000000
D4E3 {8}		0,002158	0,251643	0,004559	0,994888	0,999917
D4E1 {9}	0,002158		0,963214	1,000000	0,618215	0,876562
D4E2 {10}	0,251643	0,963214		0,902606	0,998856	0,999736
D5E1 {11}	0,004559	1,000000	0,902606		0,331566	0,700766
D5E2 {12}	0,994888	0,618215	0,998856	0,331566		1,000000
D5E3 {13}	0,999917	0,876562	0,999736	0,700766	1,000000	

D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

E (1,2,3)= CLASSES DE EXCENTRICIDADE

**APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE**

APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

(continua)

TRATAMENTOS	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
M1D1E1 {1}		0,001610	0,000632	1,000000	0,000642	0,022763
M1D2E2 {2}	0,001610		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E1 {3}	0,000632	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}	0,000642	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M1D3E2 {6}	0,022763	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M1D3E3 {7}	0,484715	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E3 {8}	0,676605	0,999903	0,998815	1,000000	0,998856	1,000000
M1D4E1 {9}	0,000106	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999958
M1D4E2 {10}	0,000098	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E1 {11}	0,012250	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E2 {12}	0,333984	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E3 {13}	0,739388	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M2D1E1 {14}	0,413184	0,000056	0,000056	0,999999	0,000056	0,000056
M2D2E2 {15}	1,000000	0,000057	0,000056	1,000000	0,000056	0,000100
M2D2E1 {16}	1,000000	0,009307	0,000056	1,000000	0,000056	0,000088
M2D2E3 {17}	1,000000	0,862175	0,825712	0,999930	0,826335	0,943249
M2D3E1 {18}	0,999991	0,546168	0,000056	1,000000	0,000056	0,171292
M2D3E2 {19}	1,000000	0,000069	0,000056	1,000000	0,000056	0,000056
M2D3E3 {20}	1,000000	0,020963	0,012943	1,000000	0,013045	0,080004
M2D4E3 {21}	0,999853	0,000056	0,000056	1,000000	0,000056	0,000057
M2D4E1 {22}	0,998929	0,821091	0,016138	1,000000	0,016440	0,522276
M2D4E2 {23}	1,000000	0,000747	0,000300	1,000000	0,000304	0,011815
M2D5E1 {24}	0,945110	0,999999	0,999979	1,000000	0,999980	1,000000
M2D5E2 {25}	1,000000	0,025284	0,013459	1,000000	0,013600	0,135605
M2D5E3 {26}	1,000000	0,029725	0,018680	1,000000	0,018823	0,107154
M3D1E1 {27}	0,571276	0,000056	0,000056	1,000000	0,000056	0,000056
M3D2E2 {28}	1,000000	0,000075	0,000061	1,000000	0,000061	0,000636
M3D2E1 {29}	1,000000	0,024740	0,000056	1,000000	0,000056	0,000290
M3D2E3 {30}	1,000000	0,967580	0,953222	0,999999	0,953484	0,991654
M3D3E1 {31}	0,999995	0,517652	0,000056	1,000000	0,000056	0,149798
M3D3E2 {32}	1,000000	0,052384	0,000057	1,000000	0,000057	0,001122
M3D3E3 {33}	1,000000	0,706953	0,604464	1,000000	0,606156	0,931240
M3D4E3 {34}	1,000000	0,005143	0,002084	1,000000	0,002116	0,058166
M3D4E1 {35}	0,896828	0,995806	0,286234	1,000000	0,289407	0,990395
M3D4E2 {36}	1,000000	0,093310	0,047451	1,000000	0,047995	0,453933
M3D5E1 {37}	0,390845	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D5E2 {38}	1,000000	0,299207	0,200298	1,000000	0,201679	0,707483
M3D5E3 {39}	1,000000	0,923942	0,867603	1,000000	0,868666	0,993854
M4D1E1 {40}	0,972745	0,000056	0,000056	1,000000	0,000056	0,000056
M4D2E2 {41}	0,999931	0,656815	0,482271	1,000000	0,485045	0,977369
M4D2E1 {42}	1,000000	0,158428	0,000056	1,000000	0,000056	0,010500
M4D2E3 {43}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}	0,000184	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999999
M4D3E2 {45}	0,001758	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E3 {46}	0,396241	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E3 {47}	0,397998	1,000000	0,999986	1,000000	0,999986	1,000000
M4D4E1 {48}	0,000210	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E2 {49}	0,000191	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E1 {50}	0,039014	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E2 {51}	0,438940	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E3 {52}	0,804391	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL
D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENTRICIDADE

**APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENRICIDADE**

(continuação)

TRATAMENTOS	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
M1D1E1 {1}	0,484715	0,676605	0,000106	0,000098	0,012250	0,333984
M1D2E2 {2}	1,000000	0,999903	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E1 {3}	1,000000	0,998815	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}	1,000000	0,998856	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E2 {6}	1,000000	1,000000	0,999958	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E3 {7}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E3 {8}	1,000000		0,953223	0,944832	0,999924	1,000000
M1D4E1 {9}	1,000000	0,953223		1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E2 {10}	1,000000	0,944832	1,000000		1,000000	1,000000
M1D5E1 {11}	1,000000	0,999924	1,000000	1,000000		1,000000
M1D5E2 {12}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M1D5E3 {13}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M2D1E1 {14}	0,000340	0,000056	0,000056	0,000056	0,000056	0,000058
M2D2E2 {15}	0,061769	0,021280	0,000056	0,000056	0,000109	0,011871
M2D2E1 {16}	0,691108	0,926218	0,000056	0,000429	0,044729	0,598021
M2D2E3 {17}	0,770641	0,996669	0,727632	0,720653	0,804578	0,942968
M2D3E1 {18}	0,996650	1,000000	0,000117	0,107139	0,721784	0,999337
M2D3E2 {19}	0,136678	0,092266	0,000056	0,000056	0,000425	0,042261
M2D3E3 {20}	0,006652	0,542898	0,004086	0,003759	0,009956	0,079534
M2D4E3 {21}	0,014968	0,001399	0,000056	0,000056	0,000058	0,001285
M2D4E1 {22}	0,999652	1,000000	0,000913	0,276249	0,906312	0,999985
M2D4E2 {23}	0,401462	0,533994	0,000075	0,000072	0,006813	0,244686
M2D5E1 {24}	1,000000	1,000000	0,997205	0,996450	0,999917	1,000000
M2D5E2 {25}	0,279120	0,864201	0,002863	0,002577	0,009511	0,134653
M2D5E3 {26}	0,009784	0,622888	0,006079	0,005635	0,014476	0,106557
M3D1E1 {27}	0,000563	0,000057	0,000056	0,000056	0,000056	0,000061
M3D2E2 {28}	0,152303	0,111936	0,000056	0,000056	0,000540	0,050317
M3D2E1 {29}	0,803135	0,983575	0,000056	0,001332	0,090615	0,758879
M3D2E3 {30}	0,927767	0,999871	0,904841	0,900873	0,943979	0,991592
M3D3E1 {31}	0,995969	1,000000	0,000103	0,096719	0,699333	0,999107
M3D3E2 {32}	0,877884	0,997114	0,000056	0,003399	0,154166	0,866251
M3D3E3 {33}	0,465509	0,999951	0,373038	0,359386	0,548558	0,930596
M3D4E3 {34}	0,619838	0,860784	0,000265	0,000234	0,028942	0,500833
M3D4E1 {35}	0,999999	1,000000	0,039566	0,774677	0,997767	1,000000
M3D4E2 {36}	0,924812	0,999564	0,008193	0,007243	0,230143	0,929264
M3D5E1 {37}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D5E2 {38}	0,766435	0,999725	0,067180	0,062089	0,158567	0,705553
M3D5E3 {39}	0,763620	1,000000	0,673980	0,659158	0,829823	0,993757
M4D1E1 {40}	0,003816	0,000138	0,000056	0,000056	0,000056	0,000191
M4D2E2 {41}	0,998451	1,000000	0,170175	0,156694	0,802577	0,999814
M4D2E1 {42}	0,957887	0,999960	0,000056	0,014937	0,329394	0,968281
M4D2E3 {43}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}	1,000000	0,984401	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E2 {45}	1,000000	0,999926	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E3 {46}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E3 {47}	1,000000	1,000000	0,995781	0,994508	0,999999	1,000000
M4D4E1 {48}	1,000000	0,987927	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E2 {49}	1,000000	0,985444	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E1 {50}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E2 {51}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E3 {52}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL
D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENRICIDADE

APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

(continuação)

TRATAMENTOS	{13}	{14}	{15}	{16}	{17}	{18}
M1D1E1 {1}	0,739388	0,413184	1,000000	1,000000	1,000000	0,999991
M1D2E2 {2}	1,000000	0,000056	0,000057	0,009307	0,862175	0,546168
M1D2E1 {3}	1,000000	0,000056	0,000056	0,000056	0,825712	0,000056
M1D2E3 {4}	1,000000	0,999999	1,000000	1,000000	0,999930	1,000000
M1D3E1 {5}	1,000000	0,000056	0,000056	0,000056	0,826335	0,000056
M1D3E2 {6}	1,000000	0,000056	0,000100	0,000088	0,943249	0,171292
M1D3E3 {7}	1,000000	0,000340	0,061769	0,691108	0,770641	0,996650
M1D4E3 {8}	1,000000	0,000056	0,021280	0,926218	0,996669	1,000000
M1D4E1 {9}	1,000000	0,000056	0,000056	0,000056	0,727632	0,000117
M1D4E2 {10}	1,000000	0,000056	0,000056	0,000429	0,720653	0,107139
M1D5E1 {11}	1,000000	0,000056	0,000109	0,044729	0,804578	0,721784
M1D5E2 {12}	1,000000	0,000058	0,011871	0,598021	0,942968	0,999337
M1D5E3 {13}		0,001350	0,157982	0,892097	0,867293	0,999898
M2D1E1 {14}	0,001350		0,999364	0,157730	1,000000	0,000780
M2D2E2 {15}	0,157982	0,999364		0,999996	1,000000	0,668450
M2D2E1 {16}	0,892097	0,157730	0,999996		1,000000	0,884818
M2D2E3 {17}	0,867293	1,000000	1,000000	1,000000		0,999973
M2D3E1 {18}	0,999898	0,000780	0,668450	0,884818	0,999973	
M2D3E2 {19}	0,301472	0,973761	1,000000	0,999953	1,000000	0,130967
M2D3E3 {20}	0,022512	1,000000	1,000000	0,999999	1,000000	0,980868
M2D4E3 {21}	0,046476	1,000000	1,000000	0,990072	1,000000	0,187219
M2D4E1 {22}	0,999996	0,000175	0,376401	0,975475	0,999875	1,000000
M2D4E2 {23}	0,658340	0,554244	1,000000	1,000000	1,000000	0,999882
M2D5E1 {24}	1,000000	0,000176	0,182390	0,995142	0,996741	1,000000
M2D5E2 {25}	0,515130	0,990926	1,000000	1,000000	1,000000	0,999991
M2D5E3 {26}	0,031842	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,990451
M3D1E1 {27}	0,002253	1,000000	0,999944	0,257644	1,000000	0,001838
M3D2E2 {28}	0,328091	0,961204	1,000000	1,000000	1,000000	0,949024
M3D2E1 {29}	0,948653	0,074158	0,999834	1,000000	1,000000	0,995398
M3D2E3 {30}	0,969430	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D3E1 {31}	0,999866	0,000908	0,695574	0,915029	0,999977	1,000000
M3D3E2 {32}	0,976135	0,036251	0,998125	1,000000	1,000000	1,000000
M3D3E3 {33}	0,721761	0,999664	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D4E3 {34}	0,846654	0,230150	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D4E1 {35}	1,000000	0,000059	0,069451	0,414457	0,998780	1,000000
M3D4E2 {36}	0,988868	0,018822	0,990816	1,000000	0,999999	1,000000
M3D5E1 {37}	1,000000	0,000057	0,011992	0,679840	0,970389	0,999928
M3D5E2 {38}	0,932123	0,612507	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D5E3 {39}	0,930774	0,988351	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D1E1 {40}	0,013629	1,000000	1,000000	0,807650	1,000000	0,033175
M4D2E2 {41}	0,999967	0,000433	0,558233	1,000000	0,999951	1,000000
M4D2E1 {42}	0,995457	0,009246	0,967532	0,999996	0,999999	1,000000
M4D2E3 {43}	1,000000	0,957578	0,999871	1,000000	0,837918	1,000000
M4D3E1 {44}	1,000000	0,000056	0,020172	0,000056	0,766292	0,000056
M4D3E2 {45}	1,000000	0,000056	0,000057	0,000056	0,865372	0,007785
M4D3E3 {46}	1,000000	0,000217	0,042639	0,600889	0,730316	0,991429
M4D4E3 {47}	1,000000	0,000056	0,005590	0,734268	0,992007	0,999999
M4D4E1 {48}	1,000000	0,000056	0,000056	0,000056	0,773797	0,000357
M4D4E2 {49}	1,000000	0,000056	0,000056	0,001113	0,768366	0,194813
M4D5E1 {50}	1,000000	0,000056	0,000336	0,120611	0,869661	0,909715
M4D5E2 {51}	1,000000	0,000060	0,020172	0,710125	0,957114	0,999877
M4D5E3 {52}	1,000000	0,002036	0,201968	0,929644	0,890350	0,999973

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL
D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENTRICIDADE

APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

(continuação)

TRATAMENTOS	{19}	{20}	{21}	{22}	{23}	{24}
M1D1E1 {1}	1,000000	1,000000	0,999853	0,998929	1,000000	0,945110
M1D2E2 {2}	0,000069	0,020963	0,000056	0,821091	0,000747	0,999999
M1D2E1 {3}	0,000056	0,012943	0,000056	0,016138	0,000300	0,999979
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}	0,000056	0,013045	0,000056	0,016440	0,000304	0,999980
M1D3E2 {6}	0,000056	0,080004	0,000057	0,522276	0,011815	1,000000
M1D3E3 {7}	0,136678	0,006652	0,014968	0,999652	0,401462	1,000000
M1D4E3 {8}	0,092266	0,542898	0,001399	1,000000	0,533994	1,000000
M1D4E1 {9}	0,000056	0,004086	0,000056	0,000913	0,000075	0,997205
M1D4E2 {10}	0,000056	0,003759	0,000056	0,276249	0,000072	0,996450
M1D5E1 {11}	0,000425	0,009956	0,000058	0,906312	0,006813	0,999917
M1D5E2 {12}	0,042261	0,079534	0,001285	0,999985	0,244686	1,000000
M1D5E3 {13}	0,301472	0,022512	0,046476	0,999996	0,658340	1,000000
M2D1E1 {14}	0,973761	1,000000	1,000000	0,000175	0,554244	0,000176
M2D2E2 {15}	1,000000	1,000000	1,000000	0,376401	1,000000	0,182390
M2D2E1 {16}	0,999953	0,999999	0,990072	0,975475	1,000000	0,995142
M2D2E3 {17}	1,000000	1,000000	1,000000	0,999875	1,000000	0,996741
M2D3E1 {18}	0,130967	0,980868	0,187219	1,000000	0,999882	1,000000
M2D3E2 {19}		1,000000	1,000000	0,024021	1,000000	0,419839
M2D3E3 {20}	1,000000		1,000000	0,932238	1,000000	0,546860
M2D4E3 {21}	1,000000	1,000000		0,065539	0,999988	0,031557
M2D4E1 {22}	0,024021	0,932238	0,065539		0,994505	1,000000
M2D4E2 {23}	1,000000	1,000000	0,999988	0,994505		0,889577
M2D5E1 {24}	0,419839	0,546860	0,031557	1,000000	0,889577	
M2D5E2 {25}	1,000000	1,000000	1,000000	0,999539	1,000000	0,867508
M2D5E3 {26}	1,000000	1,000000	1,000000	0,959417	1,000000	0,626798
M3D1E1 {27}	0,993538	1,000000	1,000000	0,000377	0,711571	0,000337
M3D2E2 {28}	1,000000	1,000000	1,000000	0,773333	1,000000	0,463854
M3D2E1 {29}	0,996610	0,999991	0,948048	0,998877	1,000000	0,999445
M3D2E3 {30}	1,000000	1,000000	1,000000	0,999999	1,000000	0,999875
M3D3E1 {31}	0,150402	0,983396	0,204422	1,000000	0,999926	1,000000
M3D3E2 {32}	0,965813	0,999936	0,860775	0,999979	1,000000	0,999946
M3D3E3 {33}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999954
M3D4E3 {34}	1,000000	1,000000	0,997114	0,999963	1,000000	0,986934
M3D4E1 {35}	0,000492	0,711379	0,006097	1,000000	0,801098	1,000000
M3D4E2 {36}	0,999898	0,999731	0,744365	1,000000	1,000000	0,999995
M3D5E1 {37}	0,046250	0,156296	0,001105	1,000000	0,286513	1,000000
M3D5E2 {38}	1,000000	0,999996	0,999702	1,000000	1,000000	0,999746
M3D5E3 {39}	1,000000	0,999997	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D1E1 {40}	1,000000	1,000000	1,000000	0,008549	0,991999	0,004972
M4D2E2 {41}	0,871464	0,967936	0,130082	1,000000	0,999397	1,000000
M4D2E1 {42}	0,700787	0,999044	0,598561	1,000000	1,000000	1,000000
M4D2E3 {43}	0,999980	0,996450	0,998679	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}	0,000056	0,006325	0,000056	0,002792	0,000107	0,999398
M4D3E2 {45}	0,000056	0,021914	0,000056	0,053045	0,000816	0,999999
M4D3E3 {46}	0,098924	0,004210	0,009713	0,998802	0,320118	1,000000
M4D4E3 {47}	0,029784	0,377643	0,000314	1,000000	0,276206	1,000000
M4D4E1 {48}	0,000056	0,006902	0,000056	0,003477	0,000118	0,999574
M4D4E2 {49}	0,000056	0,006480	0,000056	0,431608	0,000109	0,999452
M4D5E1 {50}	0,001705	0,023275	0,000069	0,984383	0,023068	1,000000
M4D5E2 {51}	0,067026	0,109415	0,002366	0,999999	0,334700	1,000000
M4D5E3 {52}	0,367247	0,031529	0,063303	0,999999	0,731219	1,000000

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL
D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENTRICIDADE

**APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE**

(continuação)

TRATAMENTOS	{25}	{26}	{27}	{28}	{29}	{30}
M1D1E1 {1}	1,000000	1,000000	0,571276	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E2 {2}	0,025284	0,029725	0,000056	0,000075	0,024740	0,967580
M1D2E1 {3}	0,013459	0,018680	0,000056	0,000061	0,000056	0,953222
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999999
M1D3E1 {5}	0,013600	0,018823	0,000056	0,000061	0,000056	0,953484
M1D3E2 {6}	0,135605	0,107154	0,000056	0,000636	0,000290	0,991654
M1D3E3 {7}	0,279120	0,009784	0,000563	0,152303	0,803135	0,927767
M1D4E3 {8}	0,864201	0,622888	0,000057	0,111936	0,983575	0,999871
M1D4E1 {9}	0,002863	0,006079	0,000056	0,000056	0,000056	0,904841
M1D4E2 {10}	0,002577	0,005635	0,000056	0,000056	0,001332	0,900873
M1D5E1 {11}	0,009511	0,014476	0,000056	0,000540	0,090615	0,943979
M1D5E2 {12}	0,134653	0,106557	0,000061	0,050317	0,758879	0,991592
M1D5E3 {13}	0,515130	0,031842	0,002253	0,328091	0,948653	0,969430
M2D1E1 {14}	0,990926	1,000000	1,000000	0,961204	0,074158	1,000000
M2D2E2 {15}	1,000000	1,000000	0,999944	1,000000	0,999834	1,000000
M2D2E1 {16}	1,000000	1,000000	0,257644	1,000000	1,000000	1,000000
M2D2E3 {17}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M2D3E1 {18}	0,999991	0,990451	0,001838	0,949024	0,995398	1,000000
M2D3E2 {19}	1,000000	1,000000	0,993538	1,000000	0,996610	1,000000
M2D3E3 {20}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999991	1,000000
M2D4E3 {21}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,948048	1,000000
M2D4E1 {22}	0,999539	0,959417	0,000377	0,773333	0,998877	0,999999
M2D4E2 {23}	1,000000	1,000000	0,711571	1,000000	1,000000	1,000000
M2D5E1 {24}	0,867508	0,626798	0,000337	0,463854	0,999445	0,999875
M2D5E2 {25}		1,000000	0,997599	1,000000	1,000000	1,000000
M2D5E3 {26}	1,000000		1,000000	1,000000	0,999998	1,000000
M3D1E1 {27}	0,997599	1,000000		0,989243	0,132418	1,000000
M3D2E2 {28}	1,000000	1,000000	0,989243		1,000000	1,000000
M3D2E1 {29}	1,000000	0,999998	0,132418	1,000000		1,000000
M3D2E3 {30}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	
M3D3E1 {31}	0,999994	0,991874	0,002135	0,957803	0,997544	1,000000
M3D3E2 {32}	1,000000	0,999985	0,069203	0,999998	1,000000	1,000000
M3D3E3 {33}	1,000000	1,000000	0,999925	1,000000	1,000000	1,000000
M3D4E3 {34}	1,000000	1,000000	0,355554	1,000000	1,000000	1,000000
M3D4E1 {35}	0,963879	0,781468	0,000066	0,275029	0,716181	0,999970
M3D4E2 {36}	1,000000	0,999923	0,037800	0,999959	1,000000	1,000000
M3D5E1 {37}	0,292169	0,201374	0,000059	0,055612	0,834172	0,996849
M3D5E2 {38}	1,000000	0,999999	0,734907	1,000000	1,000000	1,000000
M3D5E3 {39}	1,000000	0,999999	0,995444	1,000000	1,000000	1,000000
M4D1E1 {40}	0,999999	1,000000	1,000000	0,999999	0,614393	1,000000
M4D2E2 {41}	0,999955	0,982790	0,001017	0,902017	1,000000	1,000000
M4D2E1 {42}	1,000000	0,999678	0,019501	0,999549	1,000000	1,000000
M4D2E3 {43}	0,999998	0,997729	0,969911	0,999985	1,000000	0,958255
M4D3E1 {44}	0,005196	0,009316	0,000056	0,000057	0,000056	0,925569
M4D3E2 {45}	0,026784	0,031026	0,000056	0,000077	0,000057	0,968740
M4D3E3 {46}	0,213997	0,006259	0,000348	0,111072	0,724658	0,906349
M4D4E3 {47}	0,679618	0,452589	0,000056	0,037396	0,891481	0,999541
M4D4E1 {48}	0,005837	0,010140	0,000056	0,000057	0,000056	0,929345
M4D4E2 {49}	0,005365	0,009536	0,000056	0,000057	0,003411	0,926620
M4D5E1 {50}	0,028956	0,032882	0,000056	0,002171	0,217299	0,970271
M4D5E2 {51}	0,195862	0,144087	0,000068	0,078916	0,848445	0,994523
M4D5E3 {52}	0,592944	0,044034	0,003368	0,396630	0,969982	0,977239

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL
D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

E (1,2,3)= CLASSES DE EXCENTRICIDADE

APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

(continuação)

TRATAMENTOS	{31}	{32}	{33}	{34}	{35}	{36}
M1D1E1 {1}	0,999995	1,000000	1,000000	1,000000	0,896828	1,000000
M1D2E2 {2}	0,517652	0,052384	0,706953	0,005143	0,995806	0,093310
M1D2E1 {3}	0,000056	0,000057	0,604464	0,002084	0,286234	0,047451
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}	0,000056	0,000057	0,606156	0,002116	0,289407	0,047995
M1D3E2 {6}	0,149798	0,001122	0,931240	0,058166	0,990395	0,453933
M1D3E3 {7}	0,995969	0,877884	0,465509	0,619838	0,999999	0,924812
M1D4E3 {8}	1,000000	0,997114	0,999951	0,860784	1,000000	0,999564
M1D4E1 {9}	0,000103	0,000056	0,373038	0,000265	0,039566	0,008193
M1D4E2 {10}	0,096719	0,003399	0,359386	0,000234	0,774677	0,007243
M1D5E1 {11}	0,699333	0,154166	0,548558	0,028942	0,997767	0,230143
M1D5E2 {12}	0,999107	0,866251	0,930596	0,500833	1,000000	0,929264
M1D5E3 {13}	0,999866	0,976135	0,721761	0,846654	1,000000	0,988868
M2D1E1 {14}	0,000908	0,036251	0,999664	0,230150	0,000059	0,018822
M2D2E2 {15}	0,695574	0,998125	1,000000	1,000000	0,069451	0,990816
M2D2E1 {16}	0,915029	1,000000	1,000000	1,000000	0,414457	1,000000
M2D2E3 {17}	0,999977	1,000000	1,000000	1,000000	0,998780	0,999999
M2D3E1 {18}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M2D3E2 {19}	0,150402	0,965813	1,000000	1,000000	0,000492	0,999898
M2D3E3 {20}	0,983396	0,999936	1,000000	1,000000	0,711379	0,999731
M2D4E3 {21}	0,204422	0,860775	1,000000	0,997114	0,006097	0,744365
M2D4E1 {22}	1,000000	0,999979	1,000000	0,999963	1,000000	1,000000
M2D4E2 {23}	0,999926	1,000000	1,000000	1,000000	0,801098	1,000000
M2D5E1 {24}	1,000000	0,999946	0,999954	0,986934	1,000000	0,999995
M2D5E2 {25}	0,999994	1,000000	1,000000	1,000000	0,963879	1,000000
M2D5E3 {26}	0,991874	0,999985	1,000000	1,000000	0,781468	0,999923
M3D1E1 {27}	0,002135	0,069203	0,999925	0,355554	0,000066	0,037800
M3D2E2 {28}	0,957803	0,999998	1,000000	1,000000	0,275029	0,999959
M3D2E1 {29}	0,997544	1,000000	1,000000	1,000000	0,716181	1,000000
M3D2E3 {30}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999970	1,000000
M3D3E1 {31}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D3E2 {32}	1,000000		1,000000	1,000000	0,905093	1,000000
M3D3E3 {33}	1,000000	1,000000		1,000000	0,999998	1,000000
M3D4E3 {34}	1,000000	1,000000	1,000000		0,975472	1,000000
M3D4E1 {35}	1,000000	0,905093	0,999998	0,975472		0,999997
M3D4E2 {36}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999997	
M3D5E1 {37}	0,999892	0,922677	0,982016	0,577639	1,000000	0,966226
M3D5E2 {38}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999995	1,000000
M3D5E3 {39}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D1E1 {40}	0,037398	0,436874	1,000000	0,889235	0,000531	0,303088
M4D2E2 {41}	1,000000	1,000000	1,000000	0,999999	1,000000	1,000000
M4D2E1 {42}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,997178	1,000000
M4D2E3 {43}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}	0,000056	0,000056	0,455501	0,000557	0,090462	0,016265
M4D3E2 {45}	0,006370	0,000065	0,716193	0,005583	0,540717	0,099104
M4D3E3 {46}	0,989943	0,815086	0,378388	0,527327	0,999993	0,877016
M4D4E3 {47}	0,999999	0,963166	0,999338	0,618385	1,000000	0,988989
M4D4E1 {48}	0,000291	0,000056	0,472862	0,000652	0,105578	0,018609
M4D4E2 {49}	0,178202	0,008326	0,460256	0,000581	0,898542	0,016878
M4D5E1 {50}	0,897226	0,331773	0,728629	0,082993	0,999945	0,448957
M4D5E2 {51}	0,999825	0,927280	0,960365	0,616509	1,000000	0,966779
M4D5E3 {52}	0,999963	0,987462	0,788819	0,894435	1,000000	0,994719

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENTRICIDADE

D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

**APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE**

(continuação)

TRATAMENTOS	{37}	{38}	{39}	{40}	{41}	{42}
M1D1E1 {1}	0,390845	1,000000	1,000000	0,972745	0,999931	1,000000
M1D2E2 {2}	1,000000	0,299207	0,923942	0,000056	0,656815	0,158428
M1D2E1 {3}	1,000000	0,200298	0,867603	0,000056	0,482271	0,000056
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}	1,000000	0,201679	0,868666	0,000056	0,485045	0,000056
M1D3E2 {6}	1,000000	0,707483	0,993854	0,000056	0,977369	0,010500
M1D3E3 {7}	1,000000	0,766435	0,763620	0,003816	0,998451	0,957887
M1D4E3 {8}	1,000000	0,999725	1,000000	0,000138	1,000000	0,999960
M1D4E1 {9}	1,000000	0,067180	0,673980	0,000056	0,170175	0,000056
M1D4E2 {10}	1,000000	0,062089	0,659158	0,000056	0,156694	0,014937
M1D5E1 {11}	1,000000	0,158567	0,829823	0,000056	0,802577	0,329394
M1D5E2 {12}	1,000000	0,705553	0,993757	0,000191	0,999814	0,968281
M1D5E3 {13}	1,000000	0,932123	0,930774	0,013629	0,999967	0,995457
M2D1E1 {14}	0,000057	0,612507	0,988351	1,000000	0,000433	0,009246
M2D2E2 {15}	0,011992	1,000000	1,000000	1,000000	0,558233	0,967532
M2D2E1 {16}	0,679840	1,000000	1,000000	0,807650	1,000000	0,999996
M2D2E3 {17}	0,970389	1,000000	1,000000	1,000000	0,999951	0,999999
M2D3E1 {18}	0,999928	1,000000	1,000000	0,033175	1,000000	1,000000
M2D3E2 {19}	0,046250	1,000000	1,000000	1,000000	0,871464	0,700787
M2D3E3 {20}	0,156296	0,999996	0,999997	1,000000	0,967936	0,999044
M2D4E3 {21}	0,001105	0,999702	1,000000	1,000000	0,130082	0,598561
M2D4E1 {22}	1,000000	1,000000	1,000000	0,008549	1,000000	1,000000
M2D4E2 {23}	0,286513	1,000000	1,000000	0,991999	0,999397	1,000000
M2D5E1 {24}	1,000000	0,999746	1,000000	0,004972	1,000000	1,000000
M2D5E2 {25}	0,292169	1,000000	1,000000	0,999999	0,999955	1,000000
M2D5E3 {26}	0,201374	0,999999	0,999999	1,000000	0,982790	0,999678
M3D1E1 {27}	0,000059	0,734907	0,995444	1,000000	0,001017	0,019501
M3D2E2 {28}	0,055612	1,000000	1,000000	0,999999	0,902017	0,999549
M3D2E1 {29}	0,834172	1,000000	1,000000	0,614393	1,000000	1,000000
M3D2E3 {30}	0,996849	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D3E1 {31}	0,999892	1,000000	1,000000	0,037398	1,000000	1,000000
M3D3E2 {32}	0,922677	1,000000	1,000000	0,436874	1,000000	1,000000
M3D3E3 {33}	0,982016	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D4E3 {34}	0,577639	1,000000	1,000000	0,889235	0,999999	1,000000
M3D4E1 {35}	1,000000	0,999995	1,000000	0,000531	1,000000	0,997178
M3D4E2 {36}	0,966226	1,000000	1,000000	0,303088	1,000000	1,000000
M3D5E1 {37}		0,896519	0,999323	0,000152	0,999987	0,988146
M3D5E2 {38}	0,896519		1,000000	0,981261	1,000000	1,000000
M3D5E3 {39}	0,999323	1,000000		0,999971	1,000000	1,000000
M4D1E1 {40}	0,000152	0,981261	0,999971		0,020453	0,195305
M4D2E2 {41}	0,999987	1,000000	1,000000	0,020453		1,000000
M4D2E1 {42}	0,988146	1,000000	1,000000	0,195305	1,000000	
M4D2E3 {43}	1,000000	1,000000	1,000000	0,993696	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}	1,000000	0,103630	0,754769	0,000056	0,264000	0,000056
M4D3E2 {45}	1,000000	0,309876	0,928243	0,000056	0,672849	0,000218
M4D3E3 {46}	1,000000	0,682823	0,679671	0,002369	0,995606	0,924730
M4D4E3 {47}	1,000000	0,995395	0,999996	0,000068	1,000000	0,997696
M4D4E1 {48}	1,000000	0,112679	0,769999	0,000056	0,286391	0,000059
M4D4E2 {49}	1,000000	0,106055	0,758998	0,000056	0,270043	0,033061
M4D5E1 {50}	1,000000	0,324777	0,933833	0,000056	0,948640	0,578451
M4D5E2 {51}	1,000000	0,805032	0,997540	0,000332	0,999973	0,987483
M4D5E3 {52}	1,000000	0,958688	0,957746	0,019432	0,999992	0,998081

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENTRICIDADE

D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENTRICIDADE

(continuação)

TRATAMENTOS	{43}	{44}	{45}	{46}	{47}
M1D1E1 {1}	1,000000	0,000184	0,001758	0,396241	0,397998
M1D2E2 {2}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E1 {3}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999986
M1D2E3 {4}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999986
M1D3E2 {6}	1,000000	0,999999	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E3 {7}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E3 {8}	1,000000	0,984401	0,999926	1,000000	1,000000
M1D4E1 {9}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,995781
M1D4E2 {10}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,994508
M1D5E1 {11}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999999
M1D5E2 {12}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E3 {13}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M2D1E1 {14}	0,957578	0,000056	0,000056	0,000217	0,000056
M2D2E2 {15}	0,999871	0,000056	0,000057	0,042639	0,005590
M2D2E1 {16}	1,000000	0,000056	0,000056	0,600889	0,734268
M2D2E3 {17}	0,837918	0,766292	0,865372	0,730316	0,992007
M2D3E1 {18}	1,000000	0,000056	0,007785	0,991429	0,999999
M2D3E2 {19}	0,999980	0,000056	0,000056	0,098924	0,029784
M2D3E3 {20}	0,996450	0,006325	0,021914	0,004210	0,377643
M2D4E3 {21}	0,998679	0,000056	0,000056	0,009713	0,000314
M2D4E1 {22}	1,000000	0,002792	0,053045	0,998802	1,000000
M2D4E2 {23}	1,000000	0,000107	0,000816	0,320118	0,276206
M2D5E1 {24}	1,000000	0,999398	0,999999	1,000000	1,000000
M2D5E2 {25}	0,999998	0,005196	0,026784	0,213997	0,679618
M2D5E3 {26}	0,997729	0,009316	0,031026	0,006259	0,452589
M3D1E1 {27}	0,969911	0,000056	0,000056	0,000348	0,000056
M3D2E2 {28}	0,999985	0,000057	0,000077	0,111072	0,037396
M3D2E1 {29}	1,000000	0,000056	0,000057	0,724658	0,891481
M3D2E3 {30}	0,958255	0,925569	0,968740	0,906349	0,999541
M3D3E1 {31}	1,000000	0,000056	0,006370	0,989943	0,999999
M3D3E2 {32}	1,000000	0,000056	0,000065	0,815086	0,963166
M3D3E3 {33}	1,000000	0,455501	0,716193	0,378388	0,999338
M3D4E3 {34}	1,000000	0,000557	0,005583	0,527327	0,618385
M3D4E1 {35}	1,000000	0,090462	0,540717	0,999993	1,000000
M3D4E2 {36}	1,000000	0,016265	0,099104	0,877016	0,988989
M3D5E1 {37}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D5E2 {38}	1,000000	0,103630	0,309876	0,682823	0,995395
M3D5E3 {39}	1,000000	0,754769	0,928243	0,679671	0,999996
M4D1E1 {40}	0,993696	0,000056	0,000056	0,002369	0,000068
M4D2E2 {41}	1,000000	0,264000	0,672849	0,995606	1,000000
M4D2E1 {42}	1,000000	0,000056	0,000218	0,924730	0,997696
M4D2E3 {43}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}	1,000000		1,000000	1,000000	0,999251
M4D3E2 {45}	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
M4D3E3 {46}	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
M4D4E3 {47}	1,000000	0,999251	1,000000	1,000000	
M4D4E1 {48}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999497
M4D4E2 {49}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,999328
M4D5E1 {50}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E2 {51}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E3 {52}	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000

M1 = DENDROSCAN / M2 = SLIDE / M3 = DIGITAL / M4 = MANUAL

E (1,2,3) = CLASSES DE EXCENTRICIDADE

D(1,2,3,4,5) = CLASSES DE DIÂMETRO

**APÊNDICE 11 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS TRATAMENTOS
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO MÉTODO X CLASSE DE
DIÂMETRO X CLASSE DE EXCENRICIDADE**

(conclusão)						
TRATAMENTOS		{48}	{49}	{50}	{51}	{52}
M1D1E1 {1}		0,000210	0,000191	0,039014	0,438940	0,804391
M1D2E2 {2}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E1 {3}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D2E3 {4}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E1 {5}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E2 {6}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D3E3 {7}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E3 {8}		0,987927	0,985444	1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E1 {9}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D4E2 {10}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E1 {11}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E2 {12}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M1D5E3 {13}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M2D1E1 {14}		0,000056	0,000056	0,000056	0,000060	0,002036
M2D2E2 {15}		0,000056	0,000056	0,000336	0,020172	0,201968
M2D2E1 {16}		0,000056	0,001113	0,120611	0,710125	0,929644
M2D2E3 {17}		0,773797	0,768366	0,869661	0,957114	0,890350
M2D3E1 {18}		0,000357	0,194813	0,909715	0,999877	0,999973
M2D3E2 {19}		0,000056	0,000056	0,001705	0,067026	0,367247
M2D3E3 {20}		0,006902	0,006480	0,023275	0,109415	0,031529
M2D4E3 {21}		0,000056	0,000056	0,000069	0,002366	0,063303
M2D4E1 {22}		0,003477	0,431608	0,984383	0,999999	0,999999
M2D4E2 {23}		0,000118	0,000109	0,023068	0,334700	0,731219
M2D5E1 {24}		0,999574	0,999452	1,000000	1,000000	1,000000
M2D5E2 {25}		0,005837	0,005365	0,028956	0,195862	0,592944
M2D5E3 {26}		0,010140	0,009536	0,032882	0,144087	0,044034
M3D1E1 {27}		0,000056	0,000056	0,000056	0,000068	0,003368
M3D2E2 {28}		0,000057	0,000057	0,002171	0,078916	0,396630
M3D2E1 {29}		0,000056	0,003411	0,217299	0,848445	0,969982
M3D2E3 {30}		0,929345	0,926620	0,970271	0,994523	0,977239
M3D3E1 {31}		0,000291	0,178202	0,897226	0,999825	0,999963
M3D3E2 {32}		0,000056	0,008326	0,331773	0,927280	0,987462
M3D3E3 {33}		0,472862	0,460256	0,728629	0,960365	0,788819
M3D4E3 {34}		0,000652	0,000581	0,082993	0,616509	0,894435
M3D4E1 {35}		0,105578	0,898542	0,999945	1,000000	1,000000
M3D4E2 {36}		0,018609	0,016878	0,448957	0,966779	0,994719
M3D5E1 {37}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M3D5E2 {38}		0,112679	0,106055	0,324777	0,805032	0,958688
M3D5E3 {39}		0,769999	0,758998	0,933833	0,997540	0,957746
M4D1E1 {40}		0,000056	0,000056	0,000056	0,000332	0,019432
M4D2E2 {41}		0,286391	0,270043	0,948640	0,999973	0,999992
M4D2E1 {42}		0,000059	0,033061	0,578451	0,987483	0,998081
M4D2E3 {43}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E1 {44}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E2 {45}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D3E3 {46}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E3 {47}		0,999497	0,999328	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E1 {48}			1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
M4D4E2 {49}		1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
M4D5E1 {50}		1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
M4D5E2 {51}		1,000000		1,000000		1,000000
M4D5E3 {52}		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

**APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS
QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS
DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS**

**APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS
QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS
DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS**

(continua)

COD. FATIA	ÁREAS TRANSVERSAIS (cm ²)					DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS			
	"reais"	Dendroscan	Slide	Digital	Manual	Dendroscan	Slide	Digital	Manual
P1-A1-4	128,31	131,88	131,84	133,36	130,70	2,79	2,75	3,94	1,86
P1-A1-4	94,09	95,37	96,69	97,76	94,17	1,35	2,76	3,89	0,08
P1-A1-4	59,18	59,61	60,97	61,75	58,77	0,73	3,02	4,33	0,71
P1-A1-4	29,25	29,23	30,25	30,39	28,75	0,08	3,41	3,88	1,72
P1-A1-4	9,98	10,00	10,35	10,46	9,35	0,26	3,76	4,88	6,30
P1-A2-3	277,33	280,23	286,87	275,92	280,55	1,04	3,44	0,51	1,16
P1-A2-3	255,06	257,11	263,48	254,08	258,73	0,80	3,30	0,38	1,44
P1-A2-3	231,19	232,92	238,17	230,01	232,35	0,75	3,02	0,51	0,50
P1-A2-3	207,03	210,37	213,18	205,69	209,95	1,61	2,97	0,65	1,41
P1-A2-3	188,00	190,82	193,09	186,57	191,13	1,50	2,71	0,76	1,67
P1-A2-3	161,13	163,67	165,33	159,99	162,86	1,57	2,61	0,71	1,07
P1-A2-3	134,46	135,09	137,93	133,59	134,78	0,47	2,58	0,64	0,24
P1-A2-3	108,77	109,33	111,32	107,99	108,43	0,51	2,34	0,72	0,31
P1-A2-3	79,10	79,59	80,82	78,60	78,54	0,62	2,17	0,63	0,71
P1-A2-3	51,18	51,45	52,35	50,89	50,90	0,54	2,28	0,57	0,56
P1-A2-3	30,34	30,58	31,17	30,29	29,22	0,81	2,74	0,14	3,66
P1-A2-3	12,14	12,15	12,57	12,39	11,64	0,09	3,57	2,12	4,08
P1-A2-3	2,02	2,00	2,27	2,23	1,77	1,11	12,07	10,16	12,65
P1-A2-4	100,76	101,24	102,77	102,56	101,18	0,48	2,00	1,79	0,42
P1-A2-4	77,80	77,33	78,90	79,06	76,20	0,60	1,42	1,62	2,05
P1-A2-4	53,17	53,03	53,62	53,97	51,53	0,26	0,86	1,52	3,08
P1-A2-4	30,56	30,13	30,93	31,04	29,22	1,42	1,20	1,59	4,37
P1-A2-4	15,73	15,31	16,11	16,26	14,86	2,68	2,39	3,37	5,54
P1-A2-4	5,38	5,22	5,71	5,58	4,71	2,97	6,06	3,77	12,38
P1-A3-3	255,50	258,56	256,76	259,01	263,02	1,20	0,49	1,37	2,94
P1-A3-3	239,73	242,06	240,03	242,63	243,28	0,97	0,12	1,21	1,48
P1-A3-3	196,78	197,93	197,41	199,86	199,81	0,59	0,32	1,56	1,54
P1-A3-3	155,15	154,86	155,71	157,99	156,15	0,19	0,36	1,83	0,64
P1-A3-3	123,35	122,74	123,70	125,80	122,72	0,50	0,29	1,98	0,51
P1-A3-3	88,74	88,25	88,95	90,64	88,25	0,55	0,23	2,14	0,56
P1-A3-3	55,33	54,68	55,52	56,69	54,76	1,18	0,34	2,46	1,04
P1-A3-3	27,04	26,69	27,22	27,85	26,42	1,30	0,67	3,00	2,30
P1-A3-3	7,76	7,62	7,87	8,07	8,04	1,70	1,47	4,01	3,69
P1-A3-4	59,86	59,56	63,51	63,56	60,82	0,51	6,10	6,17	1,60
P1-A3-4	52,44	52,65	55,65	55,73	52,17	0,39	6,13	6,28	0,52

**APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS
QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS
DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS**

(continuação)

COD. FATIA	ÁREAS TRANSVERSAIS (cm ²)					DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS			
	"reais"	Dendroscan	Slide	Digital	Manual	Dendroscan	Slide	Digital	Manual
P1-A3-4	26,42	26,46	28,03	28,09	26,42	0,16	6,11	6,36	0,02
P1-A3-4	9,30	9,40	9,92	9,90	9,08	1,00	6,62	6,45	2,40
P2-A4-4	46,61	47,45	48,05	48,37	46,57	1,79	3,08	3,77	0,10
P2-A4-4	21,93	21,75	22,70	22,83	21,24	0,86	3,48	4,08	3,18
P2-A4-4	7,66	7,56	7,89	8,15	7,31	1,31	2,93	6,37	4,66
P2-A5-2	281,21	275,23	296,75	295,92	276,12	2,13	5,53	5,23	1,81
P2-A5-2	254,22	250,90	267,79	267,61	251,65	1,31	5,34	5,27	1,01
P2-A5-2	232,70	230,76	244,53	244,65	231,00	0,83	5,09	5,14	0,73
P2-A5-2	216,50	212,01	227,27	227,34	212,53	2,07	4,97	5,01	1,83
P2-A5-2	207,97	205,61	218,20	218,24	206,12	1,13	4,92	4,94	0,89
P2-A5-2	198,64	196,77	208,17	208,39	198,56	0,94	4,80	4,91	0,04
P2-A5-2	189,27	188,13	198,24	198,45	188,69	0,60	4,74	4,85	0,31
P2-A5-2	178,46	177,68	186,75	187,21	176,71	0,43	4,65	4,90	0,98
P2-A5-2	164,26	163,38	171,90	172,15	162,86	0,54	4,65	4,80	0,85
P2-A5-2	147,15	146,03	153,60	154,04	145,27	0,76	4,38	4,68	1,28
P2-A5-2	126,44	125,25	131,80	132,23	124,69	0,94	4,24	4,58	1,38
P2-A5-2	100,23	98,62	104,33	104,70	98,52	1,61	4,08	4,46	1,71
P2-A5-2	67,97	67,20	70,87	71,15	67,93	1,13	4,26	4,68	0,06
P2-A5-2	40,37	39,77	42,11	42,15	39,59	1,48	4,31	4,42	1,93
P2-A5-2	17,30	17,22	17,99	18,17	17,35	0,48	4,01	5,03	0,29
P2-A5-2	2,75	3,08	2,94	3,00	2,69	12,20	7,05	9,03	2,16
P2-A5-3	182,40	184,14	191,27	185,74	180,27	0,96	4,86	1,83	1,17
P2-A5-3	156,11	157,58	163,28	159,01	155,04	0,94	4,59	1,86	0,69
P2-A5-3	126,74	128,88	132,26	128,63	124,69	1,69	4,36	1,49	1,61
P2-A5-3	99,37	101,47	103,78	100,92	97,64	2,12	4,44	1,56	1,74
P2-A5-3	80,60	82,16	84,24	82,07	80,12	1,94	4,52	1,83	0,59
P2-A5-3	58,80	59,85	61,60	59,98	58,77	1,77	4,76	1,99	0,07
P2-A5-3	37,12	37,44	38,77	37,88	35,78	0,87	4,45	2,05	3,60
P2-A5-3	19,38	19,40	20,42	19,93	18,10	0,09	5,34	2,81	6,64
P2-A5-3	4,92	4,93	5,37	5,22	4,52	0,19	9,11	5,97	8,12
P2-A5-4	40,47	40,73	41,49	41,95	39,59	0,64	2,52	3,65	2,16
P2-A5-4	25,33	25,42	25,89	26,25	25,07	0,37	2,19	3,62	1,02
P2-A5-4	12,23	12,28	12,60	12,75	11,95	0,39	3,05	4,28	2,33
P2-A7-3	246,26	244,05	256,12	260,06	248,85	0,90	4,00	5,60	1,05
P2-A7-3	204,71	202,29	213,25	216,65	203,58	1,19	4,17	5,83	0,55

**APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS
QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS
DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS**

(continuação)

COD. FATIA	ÁREAS TRANSVERSAIS (cm ²)					DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS			
	"reais"	Dendroscan	Slide	Digital	Manual	Dendroscan	Slide	Digital	Manual
P2-A7-3	161,82	162,71	168,25	170,82	162,86	0,55	3,98	5,56	0,64
P2-A7-3	119,02	120,34	123,88	126,00	117,86	1,11	4,08	5,86	0,98
P2-A7-3	88,21	88,68	91,96	93,63	88,25	0,52	4,25	6,14	0,04
P2-A7-3	58,40	59,32	60,91	62,05	58,09	1,58	4,30	6,25	0,53
P2-A7-3	32,80	33,47	34,38	35,10	32,67	2,03	4,82	7,01	0,39
P2-A7-3	14,89	15,17	15,61	16,05	14,52	1,88	4,87	7,81	2,44
P2-A7-4	37,49	38,78	37,68	38,53	36,32	3,45	0,51	2,76	3,14
P2-A7-4	18,06	18,26	18,43	18,71	17,72	1,12	2,04	3,61	1,87
P2-A8-1	145,68	144,85	155,30	150,29	145,27	0,57	6,61	3,17	0,28
P2-A8-1	119,58	117,64	126,74	123,38	117,86	1,63	5,99	3,18	1,44
P2-A8-1	85,43	83,52	90,58	88,26	84,13	2,23	6,02	3,31	1,52
P2-A8-1	57,62	55,24	61,30	60,26	54,76	4,15	6,38	4,57	4,97
P2-A8-1	34,04	33,08	36,28	35,47	33,70	2,82	6,59	4,20	1,01
P2-A8-1	13,95	13,55	14,93	14,65	13,20	2,92	7,03	4,99	5,38
P2-A8-1	3,12	3,46	3,44	3,32	2,84	10,87	10,07	6,45	9,22
P2-A8-3	82,60	86,36	88,18	86,24	81,71	4,55	6,76	4,40	1,07
P2-A8-3	72,71	74,46	76,78	75,80	71,63	2,40	5,59	4,24	1,49
P2-A8-3	63,35	64,58	66,98	66,14	62,91	1,94	5,73	4,41	0,69
P2-A8-3	57,00	58,12	60,29	59,41	56,75	1,97	5,77	4,23	0,44
P2-A8-3	46,92	48,02	49,74	49,01	46,57	2,34	6,01	4,45	0,75
P2-A8-3	34,62	35,23	36,73	36,09	34,21	1,77	6,10	4,27	1,16
P2-A8-3	22,59	22,92	24,09	23,65	22,06	1,43	6,63	4,69	2,36
P2-A8-3	10,17	10,29	10,87	10,72	9,90	1,21	6,91	5,42	2,64
P2-A8-3	2,82	2,74	3,05	3,04	2,84	2,78	8,39	8,03	0,70
P2-A9-2	114,19	113,53	120,45	119,51	114,04	0,58	5,49	4,66	0,13
P2-A9-2	104,71	104,82	110,37	109,54	105,68	0,11	5,41	4,62	0,93
P2-A9-2	86,42	86,57	90,74	90,26	85,77	0,17	4,99	4,44	0,76
P2-A9-2	63,49	63,50	66,61	66,42	62,91	0,01	4,91	4,61	0,91
P2-A9-2	38,85	39,40	41,05	40,60	39,59	1,40	5,65	4,52	1,91
P2-A9-2	17,12	17,50	18,11	18,05	17,72	2,21	5,76	5,43	3,51
P2-A9-2	3,72	3,81	3,98	3,93	3,63	2,23	7,00	5,46	2,48
P2-A9-3	60,88	60,89	63,76	63,06	61,51	0,02	4,72	3,58	1,04
P2-A9-3	54,51	54,74	57,22	56,51	54,76	0,42	4,98	3,68	0,46
P2-A9-3	43,71	43,01	45,89	45,43	43,59	1,61	4,98	3,93	0,27
P2-A9-3	35,51	35,05	37,28	36,91	35,26	1,31	4,99	3,94	0,72

**APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS
QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS
DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS**

(continuação)

COD. FATIA	ÁREAS TRANSVERSAIS (cm ²)					DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS			
	"reais"	Dendroscan	Slide	Digital	Manual	Dendroscan	Slide	Digital	Manual
P2-A9-3	25,08	24,60	26,63	26,34	24,63	1,91	6,19	5,02	1,78
P2-A9-3	12,14	11,94	12,92	12,86	11,95	1,68	6,36	5,88	1,63
P2-A10-2	184,76	176,88	196,86	193,97	176,71	4,26	6,55	4,99	4,35
P2-A10-2	176,95	169,48	188,44	185,60	170,87	4,22	6,49	4,89	3,43
P2-A10-2	169,93	163,76	180,60	177,90	165,13	3,63	6,28	4,69	2,83
P2-A10-2	160,31	155,42	170,58	167,99	156,15	3,05	6,40	4,79	2,60
P2-A10-2	152,68	148,30	162,25	159,89	147,41	2,86	6,27	4,73	3,45
P2-A10-2	143,54	140,37	152,51	150,22	138,93	2,21	6,25	4,65	3,21
P2-A10-2	134,29	131,45	142,68	140,41	131,71	2,12	6,25	4,56	1,92
P2-A10-2	123,19	122,49	130,68	128,78	122,72	0,57	6,08	4,53	0,39
P2-A10-2	107,45	108,07	114,18	112,34	108,43	0,58	6,26	4,55	0,91
P2-A10-2	90,42	91,24	96,12	94,60	91,61	0,90	6,30	4,62	1,31
P2-A10-2	76,25	77,07	80,78	79,64	75,43	1,07	5,94	4,45	1,07
P2-A10-2	57,22	57,89	60,70	59,93	57,41	1,17	6,08	4,73	0,34
P2-A10-2	33,65	33,95	35,78	35,64	34,73	0,89	6,33	5,93	3,22
P2-A10-2	16,00	15,90	16,96	16,63	15,90	0,62	5,99	3,89	0,62
P2-A10-2	4,71	4,64	5,12	5,17	4,34	1,46	8,71	9,91	7,83
P2-A10-3	120,82	120,75	124,76	124,83	118,82	0,06	3,26	3,32	1,65
P2-A10-3	111,59	112,17	115,14	115,12	111,22	0,52	3,18	3,16	0,33
P2-A10-3	96,64	96,69	99,45	99,51	95,03	0,06	2,92	2,98	1,66
P2-A10-3	81,22	81,48	83,58	83,66	80,91	0,31	2,91	3,01	0,38
P2-A10-3	67,37	68,06	69,21	69,33	67,20	1,03	2,73	2,92	0,25
P2-A10-3	49,79	50,17	50,97	51,13	49,64	0,76	2,37	2,67	0,31
P2-A10-3	29,90	30,46	30,65	30,72	29,71	1,85	2,50	2,73	0,66
P2-A10-3	15,35	15,40	15,78	15,89	14,86	0,36	2,85	3,54	3,15
P2-A10-3	2,96	2,99	3,08	3,10	2,41	1,00	3,98	4,64	18,79
P2-A11-3	104,45	100,95	108,13	107,25	103,87	3,36	3,52	2,68	0,56
P2-A11-3	98,12	95,37	100,27	100,93	96,77	2,80	2,20	2,87	1,37
P2-A11-3	87,86	85,32	89,65	90,33	87,42	2,89	2,04	2,81	0,50
P2-A11-3	73,34	71,13	74,75	75,34	72,38	3,01	1,93	2,73	1,30
P2-A11-3	58,70	57,04	59,84	60,34	58,77	2,83	1,94	2,81	0,12
P2-A11-3	47,15	45,91	47,96	48,37	45,96	2,63	1,71	2,60	2,51
P2-A11-3	33,45	32,31	34,09	34,44	33,18	3,41	1,94	2,96	0,79
P2-A11-3	21,96	21,16	22,35	22,53	19,63	3,65	1,76	2,61	10,58
P2-A11-3	9,30	8,96	9,60	9,68	7,79	3,60	3,20	4,07	16,19

**APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS
QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS
DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS**

(continuação)

COD. FATIA	ÁREAS TRANSVERSAIS (cm ²)					DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS			
	"reais"	Dendroscan	Slide	Digital	Manual	Dendroscan	Slide	Digital	Manual
P2-A11-3	3,12	2,76	3,05	2,96	3,46	11,44	2,23	5,21	11,05
P2-A12-3	44,12	44,80	47,10	45,92	44,18	1,54	6,75	4,08	0,13
P2-A12-3	34,86	35,72	36,99	36,42	35,26	2,46	6,09	4,46	1,13
P2-A12-3	22,31	22,60	23,89	23,76	20,43	1,30	7,09	6,51	8,42
P2-A12-3	7,68	7,69	8,43	7,94	7,79	0,09	9,78	3,38	1,47
P2-A13-1	302,68	305,39	324,42	317,46	307,91	0,90	7,18	4,89	1,73
P2-A13-1	289,60	288,97	307,52	301,69	285,02	0,22	6,19	4,17	1,58
P2-A13-1	265,83	260,86	282,15	277,60	263,02	1,87	6,14	4,42	1,06
P2-A13-1	238,15	232,81	253,34	249,06	235,06	2,24	6,38	4,58	1,29
P2-A13-1	179,14	175,39	190,32	187,34	179,08	2,09	6,24	4,58	0,03
P2-A13-1	118,50	113,85	126,45	124,55	114,04	3,92	6,72	5,10	3,76
P2-A13-1	60,51	60,14	65,37	64,14	60,82	0,62	8,02	5,99	0,51
P2-A13-1	22,75	21,96	24,59	24,43	22,48	3,48	8,07	7,38	1,18
P2-A13-2	183,18	184,96	191,47	190,09	186,27	0,97	4,52	3,77	1,68
P2-A13-2	165,25	165,31	173,00	171,08	166,27	0,03	4,69	3,53	0,62
P2-A13-2	142,43	142,96	148,88	147,27	143,14	0,37	4,52	3,39	0,49
P2-A13-2	97,65	98,32	102,31	101,08	98,52	0,69	4,77	3,51	0,89
P2-A13-2	57,46	57,66	60,14	59,53	56,75	0,35	4,66	3,60	1,24
P2-A13-2	24,29	24,23	25,73	25,31	21,65	0,25	5,93	4,22	10,87
P2-A14-1	253,77	259,64	267,76	261,31	263,02	2,31	5,51	2,97	3,64
P2-A14-1	222,71	228,02	234,66	229,46	229,66	2,39	5,37	3,03	3,12
P2-A14-1	186,71	189,57	196,33	192,94	191,13	1,53	5,15	3,33	2,37
P2-A14-1	132,21	131,71	139,98	137,09	131,71	0,38	5,88	3,69	0,37
P2-A14-1	80,59	79,06	85,10	83,57	80,12	1,90	5,59	3,69	0,59
P2-A14-1	39,70	40,01	42,61	41,75	39,59	0,78	7,33	5,17	0,27
P2-A14-1	12,40	12,36	13,14	13,16	11,95	0,36	5,92	6,09	3,68
P2-A14-1	1,52	1,53	1,66	1,63	1,43	1,11	9,17	7,76	5,58
P2-A14-2	179,42	177,79	187,56	186,44	182,65	0,91	4,54	3,91	1,80
P2-A14-2	165,48	164,92	172,86	171,67	162,86	0,34	4,46	3,74	1,58
P2-A14-2	144,52	144,13	150,88	149,97	143,14	0,27	4,40	3,77	0,95
P2-A14-2	118,10	119,52	123,36	122,78	118,82	1,20	4,46	3,97	0,61
P2-A14-2	80,28	82,70	83,95	83,42	80,91	3,02	4,58	3,92	0,79
P2-A14-2	46,17	47,24	48,26	48,10	45,96	2,31	4,52	4,17	0,45
P2-A14-2	16,90	17,00	17,93	17,68	16,26	0,62	6,14	4,66	3,77
P2-A14-3	68,03	69,37	69,95	70,34	68,66	1,97	2,82	3,41	0,93

APÊNDICE 12 – ÁREAS TRANSVERSAIS “REAIS” E ESTIMADAS PELOS QUATRO MÉTODOS DE MEDIÇÃO E RESPECTIVAS DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS

(conclusão)

COD. FATIA	ÁREAS TRANSVERSAIS (cm ²)					DIFERENÇAS PERCENTUAIS ABSOLUTAS			
	"reais"	Dendroscan	Slide	Digital	Manual	Dendroscan	Slide	Digital	Manual
P2-A14-3	50,63	50,71	51,97	52,47	50,27	0,16	2,66	3,63	0,71
P2-A14-3	30,65	30,71	31,43	31,65	30,19	0,17	2,52	3,25	1,51
P2-A14-3	10,81	10,90	11,19	11,27	10,75	0,79	3,50	4,24	0,57
P2-A15-2	115,00	114,89	118,21	120,85	114,99	0,10	2,79	5,08	0,01
P2-A15-2	103,20	102,99	106,13	108,56	102,97	0,21	2,84	5,19	0,23
P2-A15-2	85,21	84,14	87,64	89,75	84,13	1,26	2,84	5,32	1,27
P2-A15-2	58,91	58,35	60,65	62,15	58,77	0,96	2,95	5,50	0,25
P2-A15-2	30,56	29,96	31,34	32,13	30,19	1,96	2,54	5,14	1,21
P2-A15-2	6,58	6,66	6,46	6,90	6,38	1,23	1,80	4,77	3,07
P2-A15-3	61,64	62,90	65,54	64,58	61,51	2,05	6,33	4,78	0,20
P2-A15-3	53,71	54,40	57,19	56,22	53,46	1,28	6,47	4,67	0,48
P2-A15-3	42,62	43,25	45,30	44,61	41,85	1,49	6,28	4,68	1,80
P2-A15-3	28,49	28,50	30,30	29,81	27,81	0,05	6,36	4,63	2,39
P2-A15-3	12,34	12,36	13,18	12,98	11,64	0,18	6,81	5,23	5,63
P2-A15-3	2,56	2,33	2,68	2,77	2,54	8,93	4,62	8,28	0,61
P2-A16-3	63,27	62,37	68,16	66,72	62,91	1,42	7,74	5,46	0,56
P2-A16-3	59,25	58,63	63,65	62,32	58,09	1,05	7,41	5,17	1,97
P2-A16-3	52,53	52,43	56,39	55,12	52,17	0,19	7,36	4,94	0,69
P2-A16-3	46,65	46,47	49,98	48,85	45,36	0,39	7,14	4,72	2,75
P2-A16-3	41,93	41,64	44,84	43,89	40,72	0,68	6,96	4,69	2,89
P2-A16-3	33,27	32,99	35,60	34,91	32,17	0,82	7,02	4,95	3,29
P2-A16-3	22,96	22,95	24,52	24,09	21,65	0,03	6,82	4,94	5,71
P2-A16-3	12,98	12,97	13,82	13,70	12,57	0,08	6,47	5,57	3,20
P2-A16-3	4,05	4,00	4,42	4,41	3,80	1,25	9,11	9,01	6,12
P2-A16-4	22,89	22,84	24,63	24,39	21,24	0,20	7,58	6,53	7,22
P2-A16-4	16,01	16,11	17,06	16,91	14,86	0,64	6,57	5,62	7,18
P2-A16-4	9,55	9,58	10,19	10,08	8,81	0,36	6,71	5,61	7,66
P2-A16-4	4,18	4,23	4,49	4,41	3,98	1,23	7,58	5,72	4,78
P2-A17-3	68,08	69,18	71,16	71,52	67,20	1,62	4,52	5,06	1,29
P2-A17-3	60,31	60,72	63,02	63,40	58,77	0,68	4,50	5,13	2,56
P2-A17-3	46,97	47,19	49,15	49,63	45,96	0,47	4,65	5,67	2,14
P2-A17-3	34,54	34,65	36,27	36,50	33,70	0,33	5,03	5,68	2,43
P2-A17-3	18,39	18,32	19,35	19,47	17,35	0,37	5,23	5,86	5,66
P2-A17-3	7,90	7,90	8,34	8,49	7,31	0,03	5,60	7,50	7,50